

El medio interestelar y supercáscaras de hidrógeno neutro.

Medio interestelar.

A comienzos del siglo XX, Hartmann fue el primero en encontrar una evidencia observacional que el espacio entre las estrellas no está vacío. Esta evidencia fue la detección, en el espectro de la binaria espectroscópica δ Orionis, de líneas estacionarias de absorción del calcio una vez ionizado. En un sistema binario espectroscópico, se observa un corrimiento Doppler de las líneas espectrales creadas por las dos estrellas que varía periódicamente como resultado del movimiento de las estrellas a lo largo de la línea de la visual en su movimiento alrededor del centro de masa del sistema. Hartmann observó que las líneas de Ca II no participaban de ese movimiento, o sea, eran estacionarias, se concluyó que no debían originarse en δ Orionis sino que su origen sería interestelar. Además, la forma de las líneas sugirió que las mismas eran producidas en una nube de gas interestelar fría ($T < 1000$ K) que se encontraba localizada algún lugar entre δ Orionis y la Tierra. Posteriormente se detectaron líneas de absorción en espectros de otras estrellas sumando más evidencias de la presencia de nubes de gas interestelar frío concentrado en distintas nubes a lo largo de la línea de la visual.

Luego que la existencia de nubes interestelares se estableció firmemente, Trumpler (1930) demostró que en el espacio entre las nubes había material interestelar. Su estudio se basó en las propiedades de cúmulos abiertos. Primero estimó la distancia a los cúmulos calculando el cociente entre el brillo aparente de las estrellas más luminosas del cúmulo y el brillo intrínseco (deducido a través del tipo espectral) y supuso que el espacio interestelar era transparente a la luz de las estrellas. Luego multiplicó el diámetro angular por la distancia estimada para obtener un tamaño lineal. De esta manera

encontró una tendencia, que los cúmulos más distantes eran los más grandes, independientemente de la dirección considerada. Debido a que el Sol no ocupa un lugar especial en la Galaxia, esta tendencia no era real. Por lo tanto, Trumpler concluyó que la luz de los cúmulos más lejanos disminuía gradualmente a medida que se propagaba por el espacio interestelar. Este hecho llevó a la conclusión que las estrellas en la Galaxia se encuentran embebidas en un medio extremadamente tenue al que se conoce como *medio interestelar* (MIE).

Este medio contiene una pequeña fracción de la masa total de la Galaxia y no brilla en el cielo como lo hacen las estrellas visibles. El MIE se encuentra concentrado hacia el plano de la Galaxia y a lo largo de los brazos espirales. Las componentes principales de este medio son: Hidrógeno (H_2 , HI, HII), Helio (He I, He II), elementos trazadores (C, O, Ne, Mg, Fe y otros incluyendo iones), electrones, moléculas, polvo, partículas de rayos cósmicos, campos magnéticos y campos de radiación.

MacKee & Ostriker (1977) modelaron la estructura del MIE considerando que la misma está dominada y regulada por explosiones de supernovas. Este modelo consiste de cuatro fases:

- El medio caliente ionizado, **HIM** por sus siglas en inglés *Hot Ionized Medium*. La mayor parte del espacio está ocupada por este medio cuyo valores típicos de densidad y temperatura son, $(n, T) \sim (0,003 \text{ cm}^{-3}, 5 \times 10^5 \text{ K})$.
- Embebido en el HIM se encuentra el medio frío neutro, **CNM** por sus siglas en inglés *Cold Neutral Medium*, se encuentra en núcleos de nubes frías. La densidad y temperatura son, $(n, T) \sim (40 \text{ cm}^{-3}, 80 \text{ K})$.
- Rodeando cada nube hay un medio tibio ($T \sim 8000 \text{ K}$), que se subdivide en dos regiones:

Medio tibio ionizado (**WIM** por sus siglas en inglés *Warm Ionized Medium*) que consiste en la envoltura de nubes parcialmente ionizadas.

Medio tibio neutro (**WNM** por sus siglas en inglés *Warm Neutral Medium*) que consiste en la envoltura de nubes neutras.

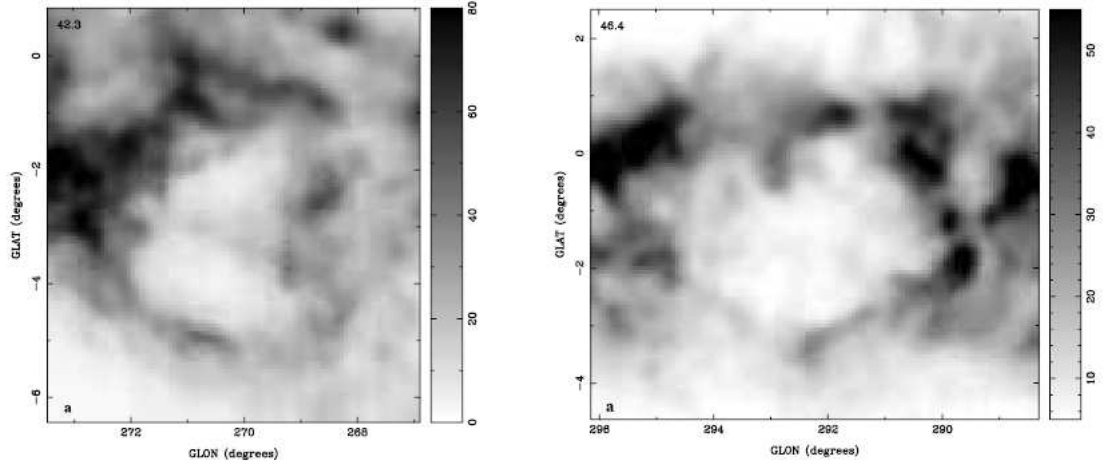


Figura 1: Cáscaras detectadas en la emisión de hidrógeno neutro por McClure-Griffiths et al. (2002).

Estructuras en el medio interestelar.

El MIE lejos de ser homogéneo presenta estructuras en forma de cavidades, arcos, gusanos, cáscaras y supercáscaras. Estas últimas están entre los objetos más grandes y enigmáticos del MIE.

Las supercáscaras se detectan mayoritariamente en la emisión de la distribución de hidrógeno neutro (HI) como mínimos en la emisión de HI rodeados, total o parcialmente por "paredes", de mayor emisión. De ahora en más, nos referiremos a estos objetos como supercáscaras de hidrógeno neutro (SC-HI). Estas estructuras permiten estudiar la interacción entre estrellas de gran masa y el medio interestelar.

Los tamaños lineales de las SC-HI van desde unas pocas decenas hasta centenares de parsecs. Heiles en el año 1979 introdujo por primera vez el término de supercáscara él las definió de acuerdo a las energías que serían necesarias para su formación. Una cáscara que requiere para su formación de una energía $E > 3 \times 10^{52}$ erg, es clasificada, según este autor, como supercáscara.

Si bien estas estructuras se detectan en el HI (ver Fig. 1), en algunos casos también pueden ser observadas en el infrarrojo y en el continuo de radio.

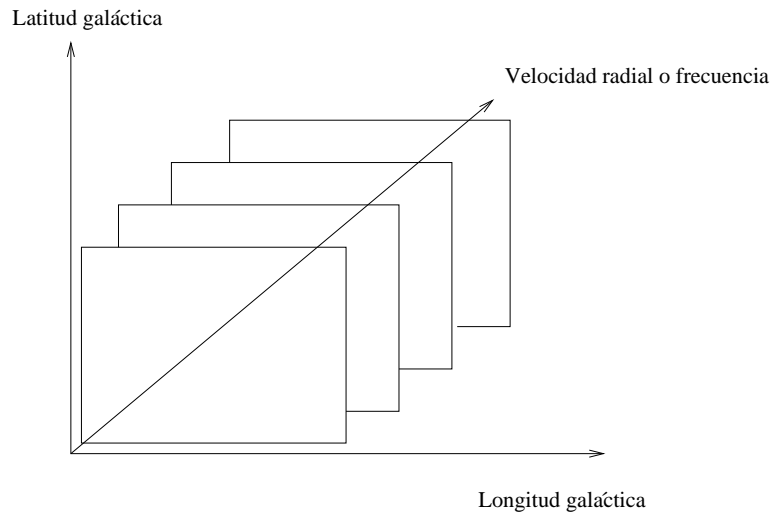


Figura 2: Esquema de un cubo de datos.

Con respecto al origen de las SC-HI, se han propuesto diversos mecanismos físicos. Entre los mismos cabe citar los efectos combinados de los vientos estelares de estrellas de gran masa y las explosiones de supernova que sufren las mismas hacia el final de su evolución. Estos mismos fenómenos desempeñan un rol muy importante en determinar el balance energético del MIE, en la evolución del MIE a gran escala, y eventualmente en la formación de nuevas generaciones de estrellas. Algunas SC-HI, las de mayor tamaño lineal, requieren para su formación una inyección de energía en el MIE del orden de 10^{53} a 10^{54} ergios. Esto implica que un gran número de estrellas de gran masa deberían haber vivido y evolucionado en un volumen relativamente pequeño, como para poder explicar la formación de las SC-HI por los procesos anteriormente mencionados. Como los super cúmulos de estrellas necesarios para explicar las estructuras de mayor tamaño no son muy abundantes en galaxias como la Vía Láctea, mecanismos alternativos de formación, tales como la colisión de nubes de alta velocidad con el gas de la Vía Láctea (Tenorio-Tagle, 1981); las explosiones de rayos gamma (Efremov et al. 1981); y la formación de estrellas de quarks a partir de estrellas de neutrones (Haensel & Zdunik, 2007) han sido sugeridos. Es importante mencionar que estos mecanismos, si bien abren nuevas opciones, no se encuentran libres de dificultades a la hora de interpretar algunas de las características observacionales de las SC-HI.

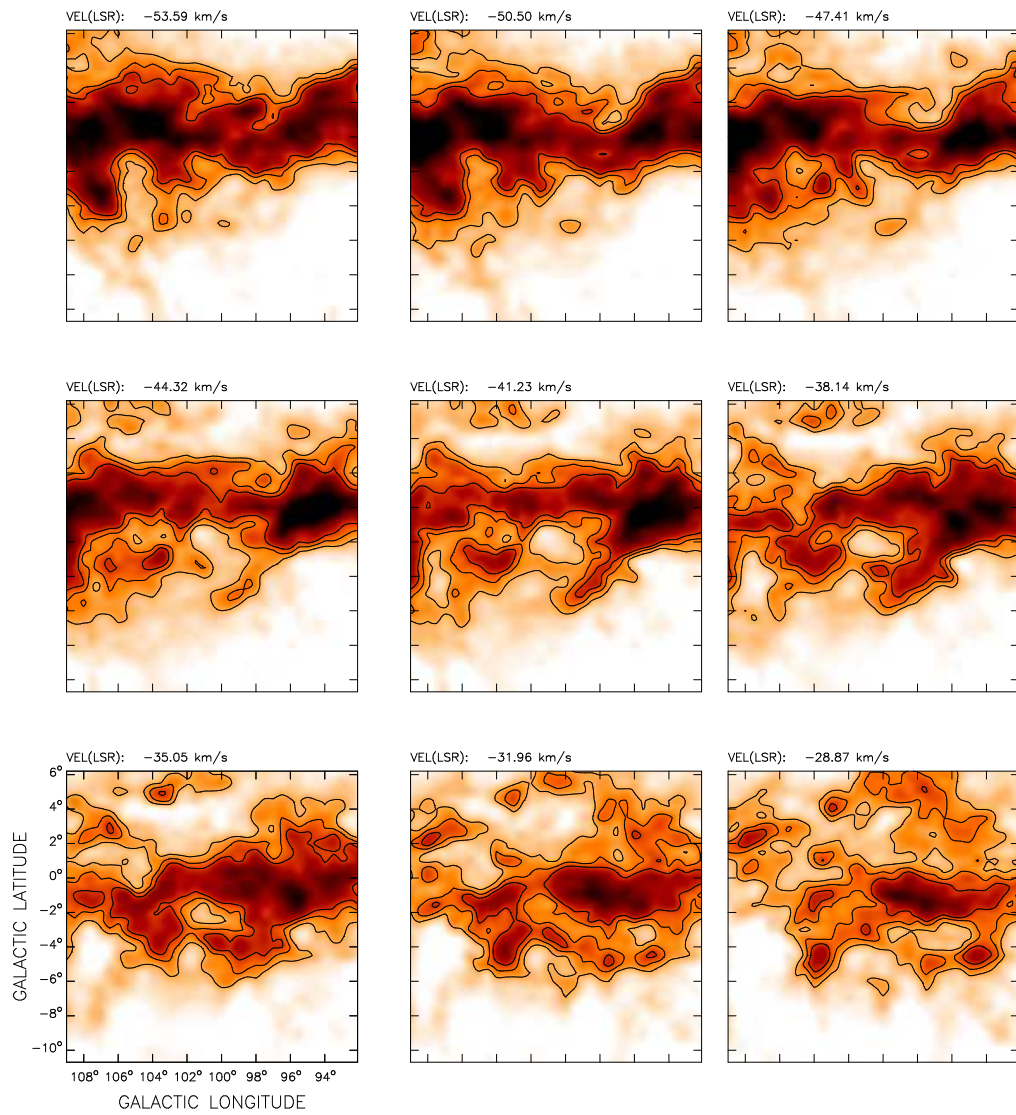


Figura 3: Ejemplo de supercáscara en expansión. Los naranjas más oscuros indican mayor temperatura de brillo.

Los datos de HI, al tratarse de una línea espectral, vienen dados en cubos de imágenes. Los cubos de datos consisten en un arreglo de perfiles observados dispuestos de acuerdo a un conjunto de tres ejes coordinados. Dos de los ejes corresponden a algún sistema de coordenadas astronómicas y el tercero puede ser la frecuencia o la velocidad radial. En la Fig. 2 se muestra un esquema de un cubo de datos. En este caso el cubo se especifica como (l, b, v) , donde l y b , son la longitud y latitud galáctica, respectivamente y v es la velocidad radial. De este modo, cada imagen del cubo muestra la distribución de la temperatura de brillo del hidrógeno neutro a una velocidad dada.

Las supercáscaras pueden expandirse a velocidades de varias decenas de kilómetros por segundo. En la Fig. 3 se muestra la supercáscara en expansión denominada GS100-02-41. Cada panel muestra imágenes longitud-latitud galácticas a distintas velocidades mostrando la distribución del hidrógeno neutro. La estructura es fácilmente detectable en los paneles que están centrados en las velocidades $-41,23$; $-38,14$; y $-35,05$ km s^{-1} . Las SC-HI poseen tiempos dinámicos de vida del orden de decenas de millones de años, por lo tanto las mismas sobrevivirían a las estrellas de gran masa que pudieran haberle dado origen (si ese hubiese sido el mecanismo que las originó), por lo que las SC-HI podrían ser usadas como registros fósiles para estudiar los efectos de formación estelar en la Vía Láctea.

Por otro lado estos objetos son muy interesantes ya que a lo largo de su evolución, las SC-HI podrían sufrir procesos de inestabilidad gravitacional que consecuentemente pueden desencadenar la formación de nuevas estrellas en los bordes de las cáscaras. También podrían formar nuevas generaciones de estrellas al "chocar" con una nube molecular del MIE. Por lo tanto estas estructuras no sólo modifican el medio en el que se encuentran inmersas sino que también podrían dar origen a una nueva generación de estrellas.

Referencias.

- Efremov, Elmegreen & Hodge, 1981, ApJ 501,L163
Haensel, P. & Zdunik, J. L., 2007 Ap&SS 308, 363H.
Hartmann, J., 1904, Astrophys. J. 19, 268.
Heiles, C., 1979, Astrophys. J. 229, 533.
McClure-Griffiths, N. M., Dickey, J. M., Gaensler, B. M., & Green, A. J. 2002, ApJ, 578, 176

McKee, C. F. & Ostriker, J. P. 1977, ApJ, 218, 148
Tenorio-Tagle, 1981, A&A, 94, 338
Trumpler, R. J., 1930, Lick Obs. Bull. 420, 154.