

*Universidad de Chile
Departamento de Astronomía
Seminario de Diseño*

M42, La Nebulosa de Orión



Orión era hijo de Poseidón, dios del Mar, y de Gea, la Madre Tierra. Tenía una belleza extraordinaria y creció tanto que llegó a convertirse en un auténtico gigante. Tan enorme era, que podía andar por el fondo de los mares profundos sin que jamás las aguas le cubrieran de hombros para arriba.

*Integrantes: Elise Servajeau
Patricio Henriquez
Maximiliano Rodriguez*

Índice

Temas	Páginas
Parte I	
• ¿Qué es una nebulosa?	1 - 3
• Región H II	3 - 4
• M 42, la nebulosa de Orión	4 - 6
• Imágenes del telescopio GOTO y otros trabajos	7 - 8
• Procedimiento	8 - 9
• Marco teórico	9 - 11
• Hidrogeno y estrellas	11 - 12
Parte II	
• Calculo del coeficiente de calibración	13
• Cálculo de la masa de la estrella ionizante	13 - 16
• Paginas visitadas	17

¿Qué es una Nebulosa?

Es fundamental comenzar a explicar que es una nebulosa para poder entender los fenómenos que ocurren en esta. Las Nebulosas son cúmulos de gas y polvo en el espacio y presentan una gran importancia en lo que es la cosmología (Estudio del Cosmos), pues son los lugares donde nacen, a través de fenómenos de condensación y agregación de la materia, los sistemas solares similares al nuestro.

Las nebulosas pueden ser visibles si se encuentran cerca de estrellas, o por el contrario estar envueltas en la oscuridad del espacio. Las nebulosas que son visibles, pueden brillar porque reflejan la luz de estrellas cercanas “Nebulosas de reflexión”, como sucede con la nebulosa de Mérope (Figura 1.). Otro caso es porque son excitadas por las radiaciones de las estrellas vecinas, por ende la nebulosa emite radiaciones “Nebulosas de Emisión”, como lo hace la Nebulosa de Orión (Figura 2.). Por otro lado las nebulosas que no son visibles, no emiten ninguna luz y su presencia se deduce por una especie de región negra que destaca sobre el fondo del cielo estrellado, pues estas nebulosas al estar compuestas de polvo interestelar, ocultan la luz emitida por las estrellas situadas tras ellas, estas nebulosas se conocen como “nebulosas oscuras”. La más conocida de estas nebulosas se conoce como El Saco de Carbón (Figura 3.).



Figura 1. :Mérope, en Las Pléyades.



Figura 2. : Nebulosa de Orión, Imagen tomada el 19 de Enero de 2006, por el telescopio Hubble



Figura 3. : El Saco de Carbón, junto a

La cruz del sur

Otro tipo de nebulosas son las conocidas como Nebulosas planetarias, estas son pequeñas regiones de gas ionizado que se forman alrededor de una estrella central enana blanca muy caliente, se comienzan a formar durante las etapas finales de la evolución estelar. Reciben el nombre de Nebulosas Planetarias, pues cuando son vistas a través de telescopios, se reflejan como si fuesen discos muy semejantes a los planetas.

Entre las nebulosas planetarias más notables están la de la Lira, la de la Hélice y la Dumbbell. La nebulosa de la Lira, nombrada a partir de la constelación en la que se encuentra ubicada, tiene una apariencia ligeramente elíptica con un anillo luminoso alrededor de una estrella central. Conocida también como M57 (Figura 4.). La Hélice (NGC 7293) es la más cercana de las nebulosas planetarias, a "tan sólo" 500 años-luz de distancia. Por su cercanía cubre en el cielo la mitad del ángulo que subtiende la Luna llena (Figura 5.).

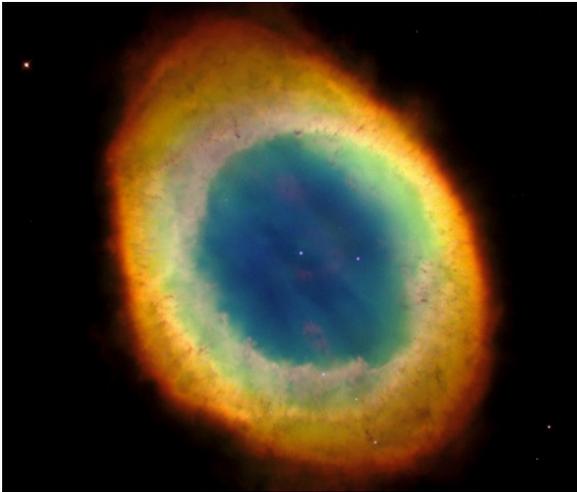


Figura 4. : M57, o La nebulosa de la Lira, se encuentra ubicada en la constelación de Lira, a 5.400 años luz de distancia. Esta imagen fue tomada por el telescopio espacial Hubble

Figura 5. : NGC 7293, o La Hélice, se encuentra ubicada en la constelación de Acuario, y ocupa unos 2.5 años luz. Esta imagen fue tomada por el telescopio Hubble



Hablemos ahora de las estrellas asociadas a las nebulosas de emisión para irnos acercando a la relación que puede existir entre las estrellas y la nebulosa. Las estrellas asociadas a las nebulosas de emisión son:

1.- Las estrellas calientes ($T_{\text{eff}} \sim 10^4\text{-}10^5 \text{ K}$) de edad avanzada llamadas *enanas blancas* que están asociadas a las Nebulosas Planetarias (p. ej. la Nebulosa de Lira).

2.- Las estrellas de edad avanzada llamados pulsares y/o estrellas de neutrones asociadas a los remanentes de supernovas (p.ej. la nebulosa del Cangrejo),

3.- Las estrellas jóvenes masivas (tipo espectral O y B) recién formadas asociadas a regiones HII como las nebulosas como Orión y Carina.

4.- Las protoestrellas u objetos estelares jóvenes (YSO por sus siglas en inglés) asociadas a los objetos Herbig-Haro.

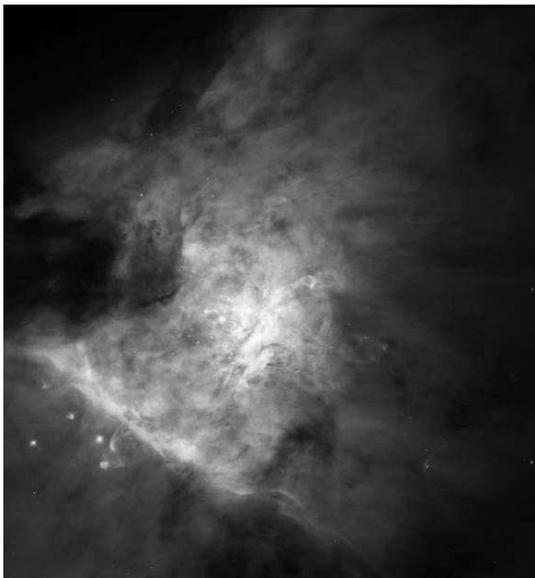


Figura 6: región central (Huygens) de la Nebulosa de Orión tomada por el telescopio espacial Hubble (HST). En el centro aparecen las estrellas de trapecio que ionizan al gas que vemos en la imagen. Las regiones oscuras son los lugares donde se forman las estrellas. Esta nebulosa es una de las mejor estudiadas ya que por su cercanía, permite realizar estudios detallados y completos del gas presente en todas sus formas, y de los procesos de formación estelar.

Región H II

Las regiones HII son regiones de gas fotoionizado debidas a una o varias estrellas OB (tipo O, B, e intermedia entre ellas) calientes jóvenes, por ejemplo, el trapecio ubicado en la región interna de la Nebulosa de Orión o región de Huygens). Cuando una estrella de tipo OB se forma, emite los fotones UV necesarios, que pueden disociar el gas molecular (no necesariamente por completo), así como ionizar el gas neutro. Por su tamaño, las regiones H II se pueden clasificar como *hipercompactas* ($\sim 0.003 \text{ pc}$), *ultracompactas* ($\sim 0.1 \text{ pc}$), *compactas* ($\sim 0.5 \text{ pc}$), *clásicas* ($\sim 10 \text{ pc}$), *gigantes* ($\sim 100 \text{ pc}$) y *supergigantes* ($> 100 \text{ pc}$), donde $1 \text{ pc} = 3.1 \times 10^{16}$ metros. El tamaño está definido por la densidad de gas, polvo, y por la cantidad de fotones ionizantes que se generen por parte de la estrella ionizante. También dependerá:

1.- De las condiciones en donde se formó la estrella.

2.- De como se genere y evolucione la región HII. Por ejemplo, las regiones HII ultracompactas, solo se pueden detectar en el radio por estar ubicadas en las partes internas (más densas) de las nubes moleculares donde se forman estrellas masivas (p.ej. en los *núcleos moleculares calientes*; HMC por sus siglas en inglés).

Cuando hay más fotones ionizantes que material para ionizar, se dice que la región HII está *limitada por densidad*. Caso contrario, si hay mas material a ionizar que fotones ionizantes, decimos que la región HII está *limitada por ionización*.

Por lo general y sin ser tajante, las nebulosas planetarias suelen ser más densas ($\sim 10^4$ - 10^5 cm^{-3}) que las regiones HII típicas o clásicas ($\sim 10^2$ - 10^4 cm^{-3}).

Aunque las regiones HII ultracompactas e hipercompactas pueden alcanzar densidades mayores de 10^4 y 10^6 cm^{-3} respectivamente. Los RSN y objetos HH tienen densidades típicas de $\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, y $\sim 10^2$ - 10^3 cm^{-3} respectivamente.

Los RSN a diferencia de las regiones foto ionizadas, presentan una estructura global fila mentaría, mientras que los objetos HH se presentan como condensaciones con forma cometaria.

M42, Nebulosa de Orión

La Nebulosa de Orión fue descubierta en 1610 por Nicholas-Claude Fabri de Peiresc y catalogada por Messier el cuatro de Marzo de 1769. La nebulosa de Orión es como se dijo anteriormente una “Nebulosa de Emisión”, es decir, es excitada por las radiaciones de las estrellas vecinas, lo que provoca que la nebulosa emita radiaciones. Está compuesta en su mayor parte hidrógeno y helio. En la zona más brillante de la Nebulosa hay cuatro estrellas brillantes que se conocen como el Trapecio, las cuales se distinguen con claridad en las imágenes obtenidas por el telescopio GOTO.

Orión es uno de los objetos mas fotografiados del cielo nocturno. En la misma nube se están formando numerosas estrellas que son llamadas proplidos, o estrellas café (Figura 6), las que sin embargo son rápidamente destruidas por las calientes y brillantes estrellas del trapecio. Las estrellas centrales comprimen el polvo y el gas colapsando la nube y creando estas nuevas estrellas. Algunas partes de la nebulosa parecen brillar porque reflejan la luz de la estrella múltiple Teta Orionis.

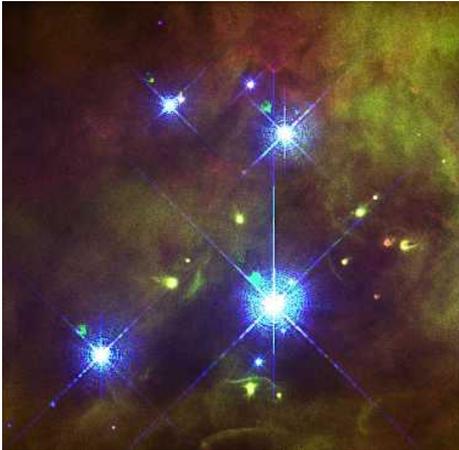


Figura 7. :M42; Orión, en la imagen se observa claramente el Trapecio, formado por las cuatro estrellas mas brillantes (Estrellas de color celeste). Se observan además en el fondo pequeñas formaciones de estrellas que no son de gran masa (Estrellas pequeñas de color café, o amarillo), las que son afectadas fuertemente por la radiación emitida por las estrellas que forman el trapecio.

Figura 8. :El primer dibujo conocido de M42, la nebulosa de Orión fue creado por Giovanni Batista Hodierna antes de 1654.



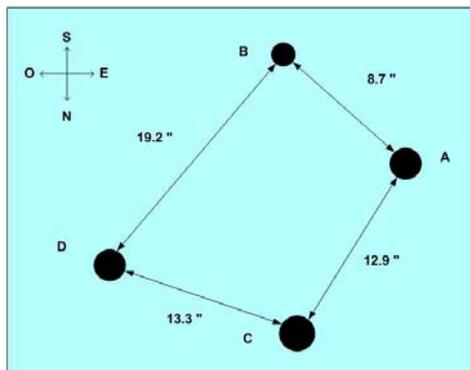
Orión nos entrega una zona perfecta para el estudio debido a su “cercana” distancia (1500 años-luz en relación a los 100.000 que mide nuestra galaxia). Por esto se obtienen imágenes despejadas de la nebulosa, pues las estrellas mas brillantes (más masivas) expulsan al exterior la mayor parte del material en el que se formaron, creando una cavidad en la oscura nube, esta cavidad representa la historia de la formación estelar de Orión, a través de los distintos rasgos que posee la nebulosa: arcos, burbujas, pilares y anillos de polvo (Figura 8).



Figura 9. :Orión, en esta imagen se pueden apreciar los mas variados rasgos que posee Orión. La imagen cubre 30 minutos de arco. La nebulosa se encuentra a unos 1500 años luz del sol. En la región central se encuentra el trapecio. Cerca del Trapecio existen estrellas que poseen unos discos protoplanetarios que son demasiado pequeños para ser visualizados en esta imagen. Son bloques de formación de sistemas solares. El brillante resplandor en la parte superior izquierda es M43, una pequeña región perfilada por la luz ultravioleta de una estrella joven. . La zona brillante de la derecha revela arcos y burbujas formados por vientos estelares -flujos de partículas cargadas arrojados por las estrellas del trapecio- que impactan contra el material. Esta es una imagen obtenida por el Telescopio espacial Hubble.

El Trapecio de Orión como se dijo anteriormente, esta compuesto por cuatro estrellas brillantes y de gran masa que se encuentran en el centro de la Nebulosa, estas estrellas bañan toda la nebulosa con una poderosa radiación ultravioleta, iluminando el gas que se encuentran en sus proximidades. El trapecio esta rodeado además por más de 1000 estrellas débiles de poca masa similares al sol. Existen dos teorías de por qué se encuentran estas estrellas de mayor masa en el centro del cúmulo. Una sostiene que las estrellas del Trapecio se formaron separadas las unas de las otras pero descendieron al centro del cúmulo, expulsando a una gran cantidad de estrellas de baja masa en el proceso. La otra teoría principal es que las estrellas del Trapecio se formaron juntas en el centro del cúmulo y que se han quedado en el lugar donde nacieron, sin moverse.

CÚMULO DEL TRAPECIO: MAGNITUDES, DISTANCIAS Y UBICACIÓN DE PRINCIPALES COMPONENTES



Magnitudes:
 A: 6.7 a 7.7 variable
 B: 7.9
 C: 5.1
 D: 6.7

Figura 10. : Se observa en la figura las posiciones del trapecio que se encuentra en la Nebulosa de Orión, donde vemos a Theta A, B, C y D.

Imágenes del telescopio GOTO y otros trabajos.

Siempre es bueno saber que se observa, para eso los astrónomos comúnmente deben comparar sus imágenes con otras ya existentes para poder saber con certeza si se esta viendo el objeto correcto.

Figura 11: Ahora veamos la imagen obtenido por nuestro telescopio. Esta fue tomada con el telescopio de 45 cm del observatorio del cerro Calan. Este telescopio Cassegrain, marca Goto, posee tres cámaras CCD, un espectrómetro, una cámara de video astronómica y varios oculares. Cabe destacar que el brillo exagerado que se aprecia en las estrellas es producto del mal estado de las imágenes y no de que la imagen sea realmente así.



Con gran dificultad se podrá lograr ver el tetraedro en esta imagen, pero se puede apreciar un centro muy brillante, el cual origina eventualmente la ionización de la nube. Mas adelante se aprecia el con claridad este conjunto de estrellas.

Figura 12: Aquí otra imagen que muestra el tetraedro claramente. La diferencia de colores se debe al cambio de filtro usado en la observación.



Figura 13: La mota oscura hacia el fondo a la derecha de la imagen es la silueta de un disco que envuelve una estrella joven orientado de perfil. Otro disco blanquecino aparece hacia la izquierda, justo sobre dos estrellas brillantes, revestido de una burbuja de polvo y gas.

Figura 14: Pilares de polvo y gas que han resistido la erosión ultravioleta de las estrellas más grandes de Orión. Recordemos que las estrellas del trapecio son muy calientes. Por ejemplo esta el caso de Theta C que posee una temperatura superior a los 30000 K.



Procedimiento

Se utilizó perdl para poder tomar los flujos de las estrellas del cúmulo del trapecio. Lo que se hace es principalmente tomar la luz que nos llega desde el espacio (cuentas) y dividir las por el tiempo de exposición obteniendo así el flujo de la nebulosa por segundo.

El primer paso es tomar un cuadrado aproximado que cubra a todo el objeto para obtener el flujo del mismo. Como segundo paso se tienen que tomar cajas pequeñas para restarle flujo que no viene de la nebulosa (en los espacios negros). Así tenemos el flujo solo de la nebulosa (puesto que ella no es ni esférica, ni cuadrada). No se le restó el ruido puesto que las imágenes obtenidas desde el telescopio GOTO ya habían eliminado ese tipo de errores con el dark.

Nota: Dark es el proceso mediante el cual se toma una imagen oscura donde se aprecian las excitaciones de electrones por la temperatura ambiente y se le resta a la imagen del objeto.

Para realizar todos los pasos anteriores se creo el siguiente código en emacs:

```
use PDL::NiceSlice;
use PDL::Graphics::PGPLOT::Window;
$im=rfits('ORION_45s_R_G_-D.fit');

$win=pgwin(Device=>'/xs');
$Xo=1100; //elección del punto de origen para la apertura de la imagen.
$Yo=410;
$caja=100; //elección de la mitad del lado de la caja

$tiempodeexp=45; // tiempo de exposición de la imagen
$win->imag($im($Xo-$caja:$Xo+$caja,$Yo-$caja:$Yo+$caja),200,1500); //apertura de
la imagen con los datos seleccionados y con un cambio de contrastes.
```

```

$flujo1=sum($im($Xo-$caja:$Xo+$caja,$Yo-$caja:$Yo+$caja));// Suma de las cuentas
de la caja.
print("flujo: $flujo\n");
$numpixelcaja=($caja*$caja)*4;
$F=($flujo/$tiempodeexp);// Se obtienen las cuentas por segundo.
print("Flujo caja por segundo: $F");

```

Marco teórico

Es también muy importante saber que estamos haciendo con las formulas, para eso explicaremos brevemente que ecuaciones se ocupan.

Nos interesa ocupar en un comienzo la siguiente relación: $V = -2.512 \cdot \log(F_{start}/F_{vega})$

Donde lo que se busca es obtener la magnitud. Históricamente, desde tiempo de Hiparcos (120 a.C.) que se usa un sistemas de clasificación de estrellas. Hiparcos las clasificaba atribuyendo valores entre 1 y 6 según su brillo observado de las estrellas, de modo que las estrellas se diferenciaban 2.5 veces en su brillo. Esto se a refinado hoy en día usándose por definición el logaritmo con signo negativo, en base 2.512 de la iluminación, por definición para hablar de la magnitud visual de las estrellas.

Nota: La magnitud visual decrece con la cantidad de flujo recibido, esto es, las estrellas más brillantes, poseen menores magnitudes visuales.

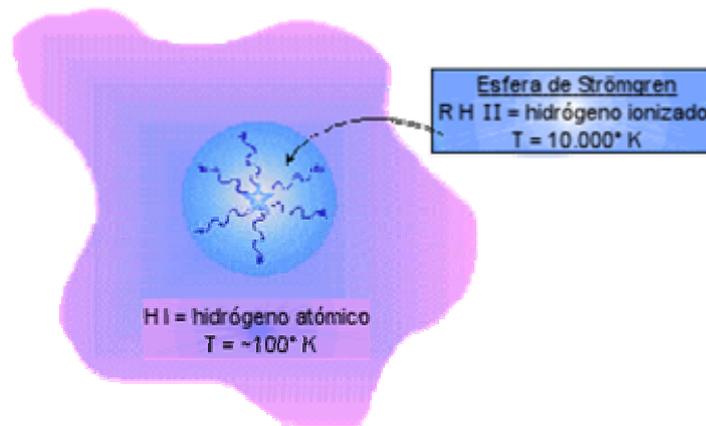
Figura 15: Hiparcos de Nicea: (c. 190-120 a.C.), astrónomo griego, el más importante de su época. Hiparco nació en Nicea, Bitinia (hoy İzmit, Turquía). Fue extremadamente preciso en sus investigaciones, de las que conocemos parte por comentarse en el tratado científico *Almagesto* del astrónomo alejandrino Tolomeo, sobre quien ejerció gran influencia. Comparando sus estudios sobre el cielo con los de los primeros astrónomos, Hiparco descubrió la precesión de los equinoccios. Sus cálculos del año tropical, duración del año determinada por las estaciones, tenían un margen de error de 6,5 minutos con respecto a las mediciones modernas. Hiparco inventó un método para localizar posiciones geográficas por medio de latitudes y longitudes. Catalogó, hizo gráficos y calculó el brillo de unas mil estrellas. También recopiló una tabla de cuerdas trigonométricas que fueron la base de la trigonometría moderna.



Definimos también magnitud absoluta. Es aquella que presentan las estrellas si se midieran todas a 10 pársec.

Otro concepto que se usa y que importante es el radio de Strömrgren. Ver Figura 14.

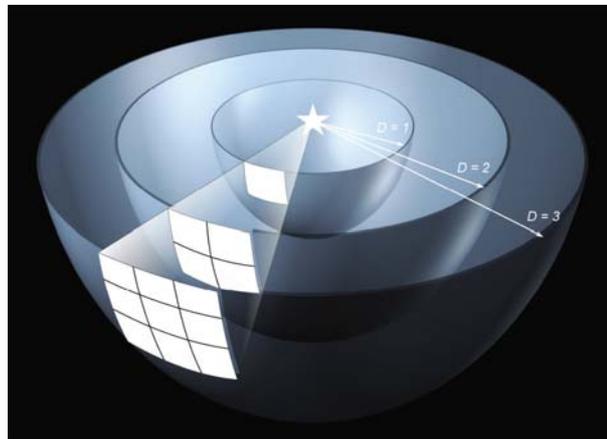
Figura 16: Se denomina radio de Strömrgren al radio del gas ionizado por una caliente estrella central ubicada dentro de la región H II de una gigante nebulosa molecular.



Pasemos a otro tema, hablaremos un poco de la luminosidad y de la intensidad. La energía total emitida por segundo en forma de luz por la estrella por segundo se denomina luminosidad L y se mide en watsios (W). Es equivalente a la potencia emitida. La luminosidad y las magnitudes están relacionadas. Una estrella remota con una gran luminosidad puede tener la misma magnitud aparente que una estrella cercana de baja luminosidad. Sabiendo la magnitud aparente y la distancia a la estrella, podemos determinar su luminosidad.

Figura 17: La estrella emite luz en todas direcciones de forma que su emisión se extiende sobre una esfera. Para encontrar la intensidad I de la luz de una estrella sobre la Tierra (la intensidad es la potencia emitida por unidad de área), dividimos su luminosidad por el área de una esfera con la estrella en el centro y radio igual a la distancia D de la estrella a la Tierra.

$$I = L / (4 \cdot \pi \cdot D^2)$$



Se tiene la necesidad de incorporar las relaciones:

$$I_{H\alpha} = \frac{\alpha_{H\alpha}}{4\pi} n_e \cdot n_p \cdot L \cdot h \cdot \nu$$

$$S = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 \cdot n_e^2 \cdot \alpha_2$$

De aquí podemos despejar fácilmente el número de recombinaciones por segundo, para poder calcular la masa. El número de electrones y protones serán tomados como si fueran iguales por lo que quedara n^2 por simplicidad. Este número es una densidad por lo que se esperan que den unidades de ese tipo. Del despeje se obtendrán el número de recombinaciones, o fotones ionizados por segundo, por lo que se espera que no se tengan unidades aquí. Posteriormente, calcular la masa solo se reduce a usar la relación:

$$\frac{L_{Sol}}{L_{star}} = \left(\frac{M_{Sol}}{M_{star}} \right)^3 \Rightarrow M_{star} = \sqrt[3]{\frac{L_{star}}{L_{Sol}}} \cdot M_{Sol}$$

Es importante notar que la imagen obtenida es en el filtro H alpha, lo que procura que lo que se esta viendo es en realidad la luz de los fotones ionizados. Luego como estamos viendo solo la parte ionizada de la nebulosa, que se tenga la masa, implica que se tiene la de aquella estrella que esta produciendo la ionización.

Hidrogeno y estrellas

¿Pero que sucede cuando hay gas y polvo alrededor de una estrella? La respuesta no es sencilla y requiere de bastante física y hacer algunas suposiciones.

Partamos suponiendo que la región alrededor de la región ionizada esta compuesto únicamente de hidrogeno neutro, despreciándose el gas molecular presente en la vecindad de la estrella recién formada.

Las estrellas se forman en las regiones de nubes moleculares de las galaxias. Cuando una de ellas ha completado su formación, el gas molecular que se encuentra en su periferia es excitado, disociado y, también ionizado, debido a la radiación que la estrella produce. Los fotones con una longitud de onda estimada en unos $< 912 \text{ \AA}$ que transitan por el medio cercano a la estrella, primero disocian el material molecular y, luego, ionizan el H I que se hallaba formado en la correspondiente nube. Y, es el resultado de ese proceso foto ionizador en ese punto de la nube es al que se le llama región H II. Por su parte, los fotones no ionizantes con rangos que van de los $912 \text{ \AA} < a < 1100 \text{ \AA}$, también pueden disociar el material molecular formando una región de hidrógeno atómico que rodea la región H II. En consecuencia, en el entorno alrededor de una estrella joven se forman dos regiones: una región foto ionizada (región H II) y una región foto disociada (PDR).

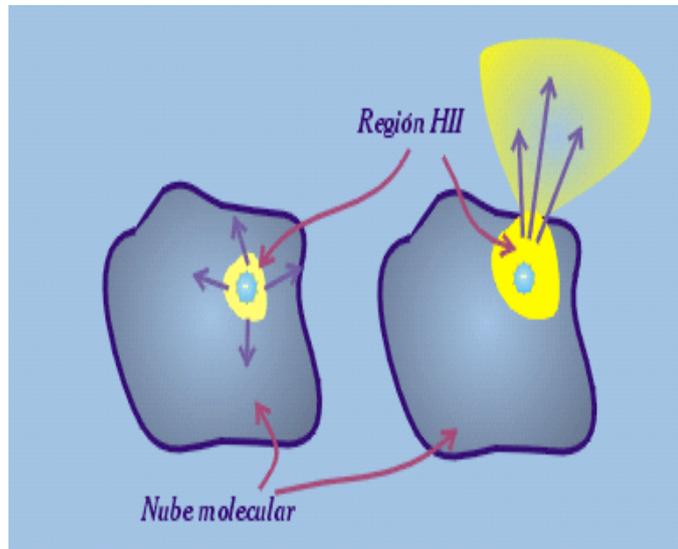
Las estrellas masivas producen un campo intenso de fotones ultravioleta (UV) los cuales, a su vez, producen extensas regiones H II y PDR. Este es nuestro caso, pues nuestra estrella ionizante es Theta C, que es una estrella del tipo O6, súper gigante, luego he aquí la causa de que se vea esa gran extensión de gas ionizado producto de la radiación de nuestra estrella. Lo que produce la disociación del gas.

Otro fenómeno interesante que sucede en Orión es el que explicamos a continuación. En las regiones HII hay una presión superior a la de las nubes moleculares

que las contienen. Cuando una de estas regiones se forma, comienza su expansión en la nube molecular y puede llegar a romper el borde de la nube y salir al exterior.

Figura 18: El efecto sería algo parecido a lo que ocurre al abrir una botella de champán que ha sido agitada previamente. Esta expansión de regiones HII puede terminar por deshacer completamente las nubes moleculares.

Una estrella masiva forma una región HII a su alrededor, que empieza a expandirse (izquierda). Al llegar al borde de la nube molecular, el gas ionizado sale al exterior en un "flujo de champán" (derecha).



En Orión esto se ve de la siguiente manera:

Figura 19: En la imagen M42 y M43, junto a otro cúmulo. Centrémonos en M42 en la parte superior izquierda. Se puede apreciar en Orión el fenómeno antes expuesto. Estrellas cerca del límite del polvo que hacen que este salga derramado al crecer.



Figura 20: Mas de cerca se puede apreciar con mayor claridad el estallido que se produce causado por la interacción de la estrella con el gas.



Cálculo de coeficiente de calibración.

Se debe calcular un coeficiente de calibración para el estudio posterior de la imagen de la nebulosa. Para ello en primer lugar se tomo una imagen de una estrella de calibración, en este caso Zeta Gru. Conociendo la siguiente relación:

$$m_{star} = 2.5 \log \left(\frac{F_{star}}{F_{vega}} \right)$$

y buscando el flujo de Vega en el filtro más cercano a H_α :

$$F_{vega}(I) = 4.3 \cdot 10^{-23} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

y a su vez la magnitud de Zeta Gru en el mismo: $m_{star}(I) = 3.883$

$$3.883 = 2.5 \log \left(\frac{F_{star}}{4.3 \cdot 10^{-23}} \right) \Rightarrow F_{star} = 4.3 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{\frac{3.883}{2.5}}$$

$$\boxed{F_{star} = 1.536980847 \cdot 10^{-21} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}}$$

A continuación se busca un coeficiente de conversión, entre el valor anterior y el valor obtenido a través de la imagen. Este último se realizó seleccionando una caja que contuviese a la estrella y sumando el total de las cuentas:

Finalmente se obtiene el coeficiente:

$$F_{star} = F_{s.in} \cdot \alpha$$

$$1.536980847 \cdot 10^{-21} = 1076992 \cdot \alpha$$

$$\boxed{\alpha = 1.427105166 \cdot 10^{-27} \text{ w} \cdot \text{cuentas}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}}$$

Cálculo de la masa de la estrella ionizante.

A partir de la imagen obtenida, se obtiene el flujo de la nebulosa. Para ello se tomo una caja grande que abarcase toda la nebulosa y se le fueron restando las cajas de las zonas no ionizadas. También se eliminaron las partes con estrellas y para esas cajas se sumaron valores promedios de la zona ionizada. Obteniendo finalmente:

$$F_{M42} = 133072064 \text{ cuentas} \cdot s$$

Se le aplica el coeficiente de calibración obtenido anteriormente, dado que la imagen no esta calibrada. Así se obtiene el flujo en las unidades deseadas:

$$F'_{M42} = F_{M42} \cdot \alpha$$

$$F'_{M42} = 1.8990783 \cdot 10^{-19} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$$

La siguiente relación relaciona el flujo con la intensidad en H_{α} a través del ángulo sólido del objeto, que en este caso es: $\Omega = 800^2 \text{ pixels}^2$, y la relación es:

$$F'_{M42} = \Omega \cdot I_{H_{\alpha}} \Rightarrow I_{H_{\alpha}} = \frac{1.8990783 \cdot 10^{-19}}{800^2}$$

$$I_{H_{\alpha}} = 2.967309844 \cdot 10^{-25} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \cdot \text{pixel}^{-2}$$

Pero se necesita dejarlo sin pixels. Luego se tiene que a 100 pulgadas o mas de la distancia focal, los pixels del st-8xMe (nuestra cámara ccd), cada uno de los 9 micrones (notemos que 1 pixel = 81 micrones² en la imagen obtenida) ven cerca de 0.7 arcosegundos.

$$\Omega = 800^2 \text{ pixels}^2 = 5.184 \cdot 10^7 \text{ micrones}^2 = 3.136 \cdot 10^5 \text{ ar cos egundo}^2 = 1.517824 \text{ sr}$$

Lugo resulta:

$$F'_{M42} = \Omega \cdot I_{H_{\alpha}} \Rightarrow I_{H_{\alpha}} = \frac{1.8990783 \cdot 10^{-19}}{1.517814 \text{ sr}}$$

$$I_{H_{\alpha}} = 1.251184788 \cdot 10^{-19} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Ahora $L = \mathcal{G} \cdot D$

Busquemos \mathcal{G}

Supongamos que los píxeles no tienen área considerable, o sea los tomamos como medida de longitud.

$$\mathcal{G} = 400 \text{ pixel} = 32400 \text{ micrones} = 2520 \text{ ar cos egundos} = 1.221696 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

Ahora buscamos el número de protones y electrones ionizados.

$$\Rightarrow n_e^2 = \frac{1.251184788 \cdot 10^{-19} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{pixel}^{-2} \cdot 4 \cdot \pi}{3 \cdot 10^{-19} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 1.221696 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \cdot 1.4199 \cdot 10^{19} \text{ m} \cdot 4.3473312 \cdot 10^{-40} \text{ J}}$$

$$\Rightarrow n_e^2 = \frac{1.5722851775 \cdot 10^{-18}}{2.262376567 \cdot 10^{-43} \text{ m}^6}$$

$$\Rightarrow n_e^2 = 6.949705897 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-6}$$

$$S = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 \cdot n_e^2 \cdot \alpha_{H\alpha}$$

$$\Rightarrow S = \frac{4}{3} \pi \cdot (1.733586624 \cdot 10^{15} \text{ m})^3 \cdot 6.949705897 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-6} \cdot 2.6 \cdot 10^{-21} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Luego el número de recombinaciones por segundo es:

$$S = 3.943347278 \cdot 10^{50} \text{ s}^{-1}$$

Obteniendo el número de recombinaciones se puede calcular la luminosidad de la estrella ionizante:

$$L_{star} = h \cdot \nu \cdot S$$

Tomamos $h \cdot \nu = 13.6 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 13.6 = 2.17872 \cdot 10^{-18}$ que es la energía mínima para lograr la ionización.

Siendo h la constante de Planck y ν la frecuencia de $H\alpha$:

$$L = 8.591449581 \cdot 10^{32} \text{ J} \cdot \text{seg}^{-1}$$

Finalmente se puede obtener la masa de la estrella ionizante con la siguiente relación:

$$\frac{L_{Sol}}{L_{star}} = \left(\frac{M_{Sol}}{M_{star}} \right)^3 \Rightarrow M_{star} = \sqrt[3]{\frac{L_{star}}{L_{Sol}}} \cdot M_{Sol}$$

como

$$L_{sol} = 3.86 \cdot 10^{26} \text{ J} \cdot \text{seg}^{-1}$$

se tiene $M_{star} = 130.5648819 M_{sol}$

Se sabe que la magnitud de las estrellas del trapecio son 6.7, 8.0, 5.1 y 6.7. Además sus tipos espectrales son B1, B0, O6 Y B0.5.

Luego, usando las tablas, se puede ver que B0 son 20 masas solares, O6 40 masas solares, y B1 un poco menor que B0. Nos interesa principalmente theta Ori C que es la del tipo espectral O6 pues es la más caliente y emite radiación más alta, la cual ioniza a la nebulosa. Luego la masa que se tiene de los cálculos anteriores debería ratificar el hecho de que estas 4 estrellas influyan sobre el gas.

Nuestro resultado da 130 masa solares. Si tomamos la masa de Theta Ori C que es la más caliente, es de 40, pensamos que en realidad es esta la que aporta la mayor cantidad de radiación, pues es la que se aproxima mejor al resultado. También hay un porcentaje importante que ionizan las demás estrellas, siendo la causa de la gran masa que resulta en la nebulosa. Por ultimo factores propios de la observación, errores del cálculo de flujos en cuanto a tomar de manera exacta la cantidad de píxeles que contienen la nebulosa y ruido de la imagen pueden causar que en realidad la medición se distorsione.

Paginas visitadas

<http://www.laeff.esa.es/partner/cursos/radio/cursorad.php?r=2>
<http://www.surastronomico.com/>
http://www.seds.org/messier/more/m042_hodierna.html
<http://www.cielosur.com>
<http://www.astrocosmo.cl>
<http://www.latinquasar.com>
<http://www.acienciasgalilei.com>
http://www.astroenlazador.com/article.php3?id_article=84
http://www.astrosmo.unam.mx/~e.fuente/Articulo_delaFuente_OCT-DIC_2005.pdf
<http://www.sbig.com/sbwhtmls/online.htm>
<http://sci.esa.int/science-e/www/object/doc.cfm?fobjectid=36494>

Otras referencias

Enciclopedia Encarta 2003
Cd Cosmos Planetas, de la colección de Arrayán Editores.