

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

TESIS PARA OBTENER ÉL TITULO

DE FISICO

QUE PRESENTA

JOSÉ SALVADOR MENDIETA OSORIO

CON ÉL TITULO

EL MEDIO INTERESTELAR

BAJO LA DIRECCIÓN

DE

M.C. JULIETA FIERRO GOSSMAN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Datos del jurado

Datos del alumno:

Apellido paterno: Mendieta
Apellido Materno: Osorio
Nombre(s): José Salvador
Teléfono: 26-12-03-62
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera Física

Datos del tutor

Grado: MAESTRIA EN CIENCIAS
Nombre(s): JULIETA
Apellido paterno: FIERRO
Apellido Materno: GOSSMAN

Datos del sinodal 1

Grado: Físico
Nombre(s): Andrés Valentín
Apellido paterno: Porta
Apellido Materno: Contreras

Datos del sinodal 2

Grado: Doctor
Nombre(s): Vladimir Antón
Apellido paterno: Avila
Apellido Materno: Reese

Datos del sinodal 3

Grado: Físico
Nombre(s): Emilio
Apellido paterno: Flores
Apellido Materno: Llamas

Datos del sinodal 4

Grado: Físico
Nombre(s): Plutarco Alejandro
Apellido paterno: González
Apellido Materno: y Hernández

Datos del trabajo escrito.

Título: EL MEDIO INTERESTELAR
Número de páginas: 77
Año: 2006

Agradecimientos

Desde tiempos in memorial, el Universo ha ejercido una fascinación especial sobre la mente humana. Casi todo ser se enfrenta a ella, por sentirse, quizá, ante una tarea superior a las propias fuerzas.

Un Agradecimiento especial a una estrella que siempre a brillando en este universo del conocimiento **M.C. JULIETA FIERRO GOSSMAN** por su paciencia infinita, por sus atinadas indicaciones y apoyo para la realización de esta tesis.

Por la atención prestada y el tiempo que dedicaron a la revisión de esta tesis me es grato expresar mi agradecimiento a **Andrés Valentín Porta Contreras, Vladimir Antón Avila reese, Emilio Flores Llamas, Plutarco Alejandro González y Hernández.**

Y a cada uno de los **Profesores** de la **Facultad de Ciencias** que me brindaron su tiempo y conocimiento en sus clases para mi formación profesional les expreso mi más sincero agradecimiento.

A cada uno de mis amigos por su apoyo en las buenas y las malas durante la carrera gracias.

En especial a una persona que estuvo siempre a mi lado, dedico su tiempo, su vida, su infinita paciencia y confianza en cualquier parte que te encuentres **Graciela Osorio** gracias por todo.

A mi **padre Carlos** y **hermano Carlos** por su apoyo.

Y por ultimo gracias a **Lilia Montoya, Adriana Pamela, Oliver Salvador** por su cariño y comprensión en este tiempo.

I N D I C E

Capitulo I

Introducción.....1

Capitulo II

Las Estrellas y Galaxias.....3

2.1. Descripción general de una estrella.....4

2.2. La contracción de una estrella desde una
nube de gas y polvo.....7

2.3. Las Galaxias.....9

2.4. Clases de Galaxias.....11

Capitulo III

El Medio Interestelar.....15

3.1. Polvo interestelar.....21

3.2. La Radioastronomía.....26

3.3. Fuentes de las ondas de radio.....27

3.4. Gas Interestelar.....28

3.5. Moléculas en el espacio.....32

Capitulo IV

La Física del Medio Interestelar.....39

4.1. Materia interestelar.....41

4.2. Influencias en la medida
de la distancia.....42

4.3. Distancias estelares.....43

4.4. La existencia de
átomos interestelares.....43

4.5 Las regiones H I Y H II.....44

4.6. El Enrojecimiento interestelar
y la extinción.....47

4.7 La Radio Observación de
Nuestra Galaxia.....47

4.8 Radio Astronomía.....48

4.9 Remanente de supernova.....49

4.10. Las líneas del espectro de radio del hidrógeno interestelar (gas neutro).....	52
4.11. La transición de la línea de 21cm.del átomo de hidrógeno.....	52
4.12. Líneas espectrales de las moléculas de radio.....	54
4.13. EL Hidrógeno molecular.....	62
4.14. La formación de las estrellas.....	64
4.15. Un caso de estudio; La nube molecular de Orión.....	69
4.16 IRAS, imágenes infrarrojas y la formación de estrellas.....	72

Capitulo V

Resumen final.....	77
--------------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	79
-------------------	----

CAPITULO I

Introducción

El estudio del universo está basado en instrumentos de observación como son: los radio telescopios, las sondas espaciales, el telescopio Hubble, etc.

El presente es un trabajo **monográfico** sobre **Medio Interestelar**, que consiste en la recopilación de información aportada por los astrónomos en diferentes libros y revistas científicas.

Esta tesis surgió de un diplomado de astronomía para profesores de la ENP y CCH con la inquietud de apoyar los cursos de astronomía impartidos en estas instituciones.

Esta tesis esta formada por cinco capítulos. Incluyendo la introducción, en el capitulo II se hace mención de las estrellas y del medio que las rodea. En el capitulo III se hace referencia a lo que es el medio interestelar; en el IV capitulo se menciona la relación de la física con el medio interestelar, y en el capitulo V concluimos esta tesis con un resumen final, el cual redondeará las ideas trabajadas a lo largo de esta tesis.

CAPITULO II

LAS ESTRELLAS Y LAS GALAXIAS



Figura 1.1.

Las estrellas sin cambios aparentes a través del tiempo.

Durante muchos siglos el hombre ha estudiado el cielo nocturno, ha visto estrellas de todo tipo brillando noche tras noche, sin aparentemente ningún cambio visible; parecía que todas ellas hubieran sido creadas simultáneamente con distintos grados de brillo. Sin embargo ello no es así, con el tiempo los astrónomos han llegado a descubrir que algunas son jóvenes y otras viejas, algunas son pequeñas y otras grandes, algunas son frías y otras son calientes. En conclusión, no todas las estrellas son iguales (**figura 1.1**).

A través de la medición del brillo, del color, de los espectros, de la posición y del movimiento de las estrellas se puede evaluar sus distancias, dimensiones, masas y brillos intrínsecos.

Para reproducir sus propiedades internas se construyen modelos teóricos de estrellas que esquematizan la estructura de la misma desde su centro hacia la superficie. Si se verifica que los modelos son coincidentes con los datos observados, podemos considerar dichos modelos como aceptables.

2.1. Descripción general de una estrella

Las estrellas son esferas de gas con luz propia, esta energía es el resultado de explosiones nucleares en su interior, y que es emitida al espacio en forma de radiación. Del estudio del haz luminoso que nos llega de las estrellas obtenemos información sobre algunas de sus características físicas: la temperatura, la composición química, si la radiación emitida es constante o variable, si el radio de la estrella se mantiene estable o eventualmente varía de tamaño, etc., si la estrella forma parte de un sistema doble, podemos determinar su masa, y si eventualmente pertenece a un cúmulo estelar podemos estimar su edad, o sea el tiempo transcurrido desde que se formó.

Un ejemplo de esto es el Sol, Según modernos estudios, la edad del Sol es de aproximadamente de 4,500 millones de años. Por otra parte, la vida en la Tierra existe desde hace unos 3,000 millones de años, algo que sugiere que el Sol ha

tenido, durante ese lapso, una estructura muy estable: no ha cambiado su brillo ni su diámetro. Es decir, no ha sufrido cambios significativos en el intervalo de por lo menos varios miles de millones de años. Esa estabilidad a la que hacemos referencia y que es común a la mayoría de las estrellas, surge del equilibrio entre dos fuerzas que existen en su interior: **el gradiente de presión del gas y la fuerza gravitatoria.**

Como hemos mencionado, puede definirse una estrella como una enorme masa de gas en estado de plasma. Por las leyes de la termodinámica, sabemos que los gases tienden a expandirse a mayor temperatura, es decir a aumentar su volumen; dicho en otras palabras, un gas dentro de un recipiente cerrado ejerce cierta presión sobre las paredes que lo contienen. Esa presión esta relacionada con la temperatura a la cual se halla el gas; a su vez la temperatura es un indicador de la dispersión de velocidades, de los átomos y las moléculas que conforman el gas: cuanto mayor sea la dispersión de velocidades, mayor será la temperatura y mayor también será la presión. Así, los gases de una estrella tienden a dilatarse, tratando de aumentar su volumen; podemos concluir que en el interior de una estrella existe, una presión ejercida por los gases de dentro hacia fuera.

Pero en una estrella existe además otra fuerza. La atracción gravitacional. También podemos analizar el efecto de la gravedad de la estrella mediante un modelo de capas de materia concéntricas; cada una de esas capas ejerce cierto peso sobre la capa adyacente interior, y como consecuencia de ello, cada capa superior comprime a la inferior. Así, la

atracción gravitatoria que se ejerce entre la masa de esas diversas capas produce una fuerza que tiende a provocar un colapso de la estrella hacia su centro.

El hecho de que una estrella permanezca estable, es decir que no se expanda ni se colapse, significa que la presión del gas y el gradiente de depresión debida a la fuerza gravitatoria se hallan equilibradas, es decir no hay predominio de una sobre la otra durante lapsos muy prolongados. De este modo, en cualquier punto de la estrella el valor de la temperatura (o bien, la velocidad de las partículas de gas) debe de ser tal que muestre equilibrio entre el peso de las capas correspondientes y la presión del gas en dicho punto. Como el peso sobre cada capa de la estrella aumenta hacia el centro, la temperatura también deberá aumentar en la misma dirección para mantener su estabilidad. Ahora bien supongamos que este equilibrio se altera: si la presión del gas no es suficiente para sostener el peso de las capas externas, la estrella se contraerá hasta que la presión del gas pueda balancearlo nuevamente. Así mismo, si la presión del gas fuese mayor que el peso de las capas que se encuentran sobre él, la estrella tendera a expandirse, disminuyendo la presión interna hasta igualar el peso de las capas externas. En resumen la estrella buscará en cada caso una nueva situación de equilibrio.

Las estrellas son objetos celestes con una vida limitada en el tiempo. Estas nacen de una masa de gas frío y polvo. Con el transcurso del tiempo van modificando su estructura debido al fenómeno que se vincula con la producción de energía que se produce en su interior. Se desarrollan

cambios en su composición química, los que modifica lentamente sus propiedades físicas. Después de un tiempo, que depende de la cantidad de masa que contiene la estrella, está comienza a disminuir de brillo en forma más o menos rápida, y en ocasiones con fuertes explosiones junto con eyecciones de materia al espacio. Este es el fin de una estrella, poco a poco la estrella llega al fin de su vida y se convierte en un cuerpo oscuro.

2.2. La contracción de una estrella desde una nube de gas y polvo

En una nube de gas y polvo entre las estrellas y con una densidad uniforme, las partículas cercanas ejercen mutuamente atracción gravitacional, en consecuencia aumenta la densidad (**figura 1.4**).

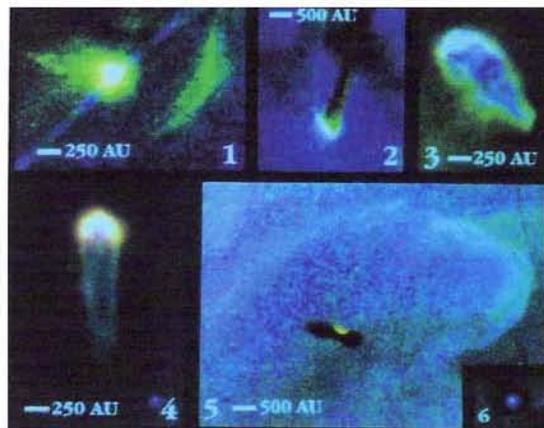


Figura 1.4.

Estrella en proceso de formación y rodeada por nubes aplanadas (θ^1 C Orionis)

La energía gravitatoria (negativa) va disminuyendo a medida que las partículas se acercan y, para conservar la energía, el gas se calienta (**energía térmica**) y emite (**radiación**).

Inicialmente la energía radiada escapa libremente hacia fuera de la nube, ya que la densidad de la materia que la genera es muy baja. Por lo tanto la temperatura aumenta de la nube muy lentamente, mientras la contracción en caída libre no encuentra opción. Pero al aumentar la opacidad (o sea la propiedad del material de absorber radiación y dificultar su paso), debido a un aumento de la densidad, la radiación ya no puede fluir con tanta libertad al exterior: la temperatura interna de la nube comienza a elevarse más rápidamente, lo que lleva a un crecimiento en la presión del gas. En esas condiciones la presión del gas empieza a equilibrar a la contracción de la materia en caída libre, produciéndose una desaceleración del proceso (**figura 1.4**). En ese momento se puede considerar que la nube de gas se ha convertido en una **protoestrella**. Al comienzo, ésta consiste principalmente en hidrógeno en forma molecular, pero al incrementar la temperatura y alcanzar unos $1,800\text{ }^{\circ}\text{K}$, el Hidrógeno (H) molecular se desintegra y se convierte en átomos de hidrógeno. Al llegar a los $10,000\text{ }^{\circ}\text{K}$ el hidrógeno se ioniza, y posteriormente un proceso similar sucede con el helio (He).

Entonces el gas de la protoestrella se ha ionizado completamente. Balanceada por la presión interna, la contracción se detiene y se dice entonces que la estrella se encuentra en equilibrio hidrostático. Las reacciones

termonucleares correspondientes a la transformación del hidrógeno en el helio se inician cuando la temperatura del núcleo estelar alcanza valores de alrededor de 14 millones $^{\circ}\text{C}$. Cuando se inicia esta transformación de hidrógeno a helio la estrella llega a la etapa de la secuencia principal. Pero para que esto ocurra, es necesaria una masa crítica tal que en el centro de la estrella la temperatura sea la adecuada para las transformaciones nucleares en esas condiciones se detiene por completo la contracción de la estrella, y el hidrógeno se convierte en helio (entonces se producen neutrinos y rayos γ) y se dice entonces que ha nacido una estrella.

La observación de estrellas durante la etapa de contracción es bastante dificultosa, pues se hallan ocultas entre densas nubes de gas brillante mezcladas con nubes oscuras de polvo. Sin embargo, algunas protoestrellas han sido descubiertas, un ejemplo son las estrellas de **T Tauri**, objetos pequeños, variables de luz (todavía no son del todo estables), y rodeados de nubes gaseosas.

2.3. Las Galaxias

El Universo está compuesto de materia, materia oscura, galaxias, nebulosas que están, compuestas de gas y polvo, estrellas que nacen y mueren, produciendo elementos químicos.

Hay diferentes tipos de galaxias todas están formadas por miles de millones de estrellas que abarcan enormes distancias en el espacio. Desde las galaxias que conforman el grupo

local, al cual pertenece la Vía Láctea, hasta las más lejanas, hay más de 10,000 millones de años luz.

Las galaxias son el constituyente fundamental del Universo, y a pesar de que distan mucho de la Tierra, no se observan a través del telescopio como simples puntos de luz, sino que se manifiestan como manchas luminosas de diferentes formas. Nuestra galaxia es miembro de un grupo local compuesto por una veintena más. La nebulosa de Andrómeda es tan grande como la Vía Láctea tiene forma espiral como se aprecia en la **figura 1.5**, muestra otras galaxias espirales de nuestro grupo local conocido por un numero de catalogo **M-33** tanto ella como la de Andrómeda dista unos 2 millones de años luz de la nuestra.



Figura 1.5.

La Galaxia conocida como la nebulosa de Andrómeda, la diferencia de color entre la zona interna, amarilla, y la externa azul, se puede explicar por las diferentes edades de las estrellas.

Los miembros restantes del grupo local son pequeños, a veces llamadas enanas, dos de ellas están relativamente cerca a unos 150, 000 años luz, son la gran nube de Magallanes y la pequeña nube de Magallanes (**figura 1.6a,1.6b**). Los astrónomos han estudiado ambas galaxias con detalle, porque se encuentran relativamente cerca de nosotros y de muestran más detalle que cualquier otra galaxia más alejada.



Figura 1.6a.
La nube mayor de Magallanes

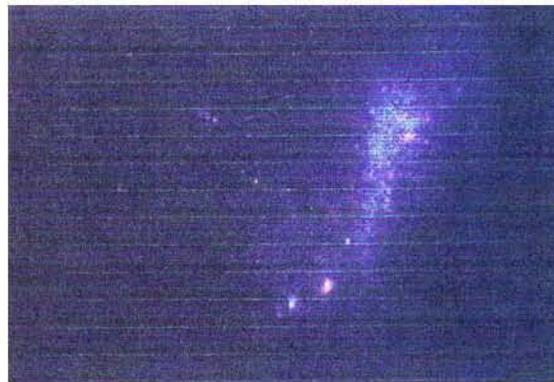


Figura 1.6b.
La nube menor de Magallanes

2.4. Clases de Galaxias

Aunque la galaxia de Andrómeda sea el caso más espectacular que podamos observar, no es la única, ni mucho menos. Hasta una distancia de unos 100 millones de años luz se han catalogado unas 500,000 pero él número sigue aumentando se han llegado a registrar más de 100 millones de universos galácticos. Hubble registró tres tipos de galaxias: las espirales, las elípticas y las irregulares (**figural1.7**).

Desde el punto de vista de la observación es una suerte que todas las galaxias parezcan encuadrar en una, de cuatro clases principales, de modo que un estudio escrupuloso de los elementos típicos de cada grupo, pueda proporcionar una comprensión bastante satisfactoria de todos ellos.

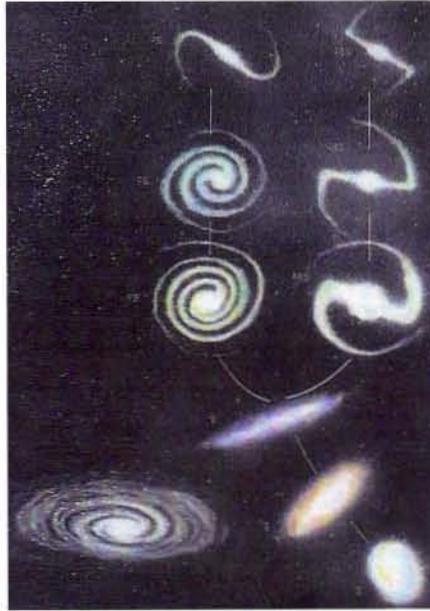


Figura 1.7.

Tipos de Galaxias

Las Galaxias en forma de espiral constituyen el grupo más brillante y son semejantes a la nebulosa de Andrómeda. Constituyen el 80% del total y se dividen en dos tipos, las espirales ordinarias, que se designan con letras **S** y se distinguen por tener dos o más brazos principales que tiene su origen en puntos diametralmente opuestos sobre el núcleo central, las espirales barradas, que se denominan con la letra **SB**, en las que el centro parece atravesado por una

barra más o menos larga. En las espirales de estos grupos de galaxias existen estrellas gigantes, súper gigantes azuladas y nebulosas de gas y polvo. Al grupo de galaxias espirales pertenece la Vía Láctea y la gran nebulosa de Andrómeda. Visible a simple vista. Además de **S** y **SB**, las espirales se clasifican por su sistema de letras que van de la "a" a la "c", las **Sa** y las **Sba** tienen una región central con brazos cercanos, los **Sc** y las **SbC** tienen los brazos más separados, y los **Sb** y las **SBb** tiene los brazos en una posición intermedia, semejantes a la Vía Láctea.

Las galaxias elípticas constituyen aproximadamente el **15%** del total y presentan una forma esferoidal o lenticular más o menos alargado. Su aplastamiento aparente depende del que realmente tiene y de la posición del observador. En ella las estrellas individuales son difíciles de identificar, por ser enanas y de brillo menor al del Sol. Son galaxias, sin regiones opacas por presencia de polvo, su clasificación se hace con números del **0** al **7**, siendo más esféricas las que tienen el número más bajo y ovaladas las del número más alto (**E1**, **E2**, **E3**, etc.). Contienen mucho menos polvo y gas que las espirales.

Las galaxias irregulares son cerca del 5% tiene formas asimétricas y bandas oscuras, por la absorción luminosa provocada por la materia opaca. Algunas parecen revelar colisiones entre galaxias espirales que debieron tener enormes proporciones. A este grupo pertenecen las nubes de Magallanes (**figura 1.6a, 1.6b**).

Hay a de más un 2% que son galaxias peculiares, algunas

como la **M-82**, También se le consideran galaxias irregulares a las que no entran en los esquemas anteriores.

Además de estos modelos de galaxias existen otros denominados **SO**, que parecen una espiral con un bulbo muy brillante y sin brazos espirales.

Capítulo III

El Medio Interestelar



Figura 3.1.

La Vía Láctea.

Pareciera que los grandes espacios oscuros que separan las estrellas estuvieran vacíos, pero en realidad no es así. Se sabe actualmente que entre las estrellas hay gas y polvo: es decir material interestelar, esta materia representa, al menos un 20% de la masa de la Vía Láctea (**figura 3.1.**).

El gas se presenta bajo la forma de átomos y moléculas, donde el elemento más abundante es el hidrógeno; en orden de

abundancia le sigue el helio, el carbono, el oxígeno, el nitrógeno y el hierro. Entre las moléculas, hasta este momento se han detectado alrededor de 100 variedades, algunas de ellas extremadamente complejas.

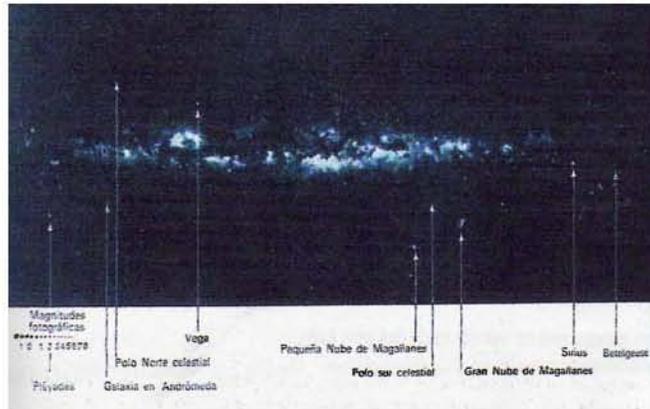


Figura 3.2.

Una representación completa de la Vía Láctea, realizada a partir de muchas fotografías

Por otra parte, el polvo se compone de pequeñas partículas, en general menor que unas 10 micras, que modifican la luz de las estrellas que se encuentran detrás; no brillan y por consiguiente sólo se distinguen cuando aparecen proyectadas sobre regiones brillantes, como nebulosas difusas, o grandes aglomerados de estrellas.

Parte del plano galáctico puede apreciarse a simple vista como faja brillante que cruza el cielo y que recibe el nombre de Vía Láctea (del cual deriva el nombre genérico de nuestra Galaxia **figura 3.2**). En esa banda se puede observar

nebulosidades brillantes de carácter difuso, que se denomina nebulosa. Se comprueba que algunas de estas nebulosas, en particular las situadas fuera de la Vía Láctea, son en realidad, galaxias, contándose millones de estrellas en su conformación. Otras, sin embargo, aun perteneciendo a la Vía Láctea, no son resolubles en estrellas. A éstas se las denomina nebulosas y entre las mismas han podido identificarse las siguientes clases:

a) Nebulosas brillantes o de emisión **figura 3.3.**

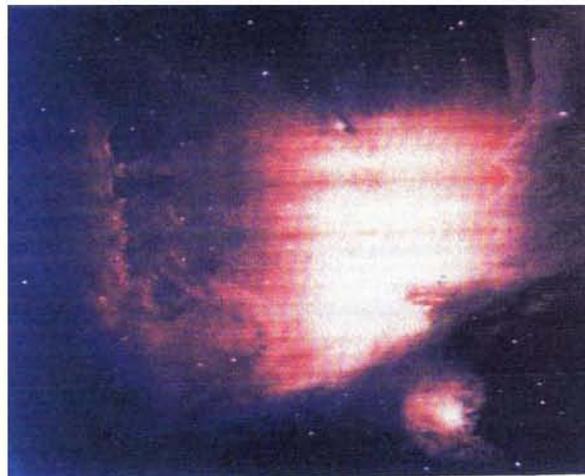


Figura 3.3.

Nebulosa de Orión

b) Nebulosas de reflexión figura 3.4.



Figura 3.4.

Nebulosa de la roseta

c) Nebulosas oscuras o de absorción figura 3.5.



Figura 3.5.

Nebulosa del caballo.

d) Nebulosas planetarias **figura 3.6**



Figura 3.6.

La nebulosa del anillo NGC 6720.

La presencia de gas interestelar puede detectarse a través de las líneas espectrales de los elementos que forman parte del mismo gas distribuido entre las estrellas; dichas líneas también aparecen en el espectro de algunas estrellas (por ejemplo, en las estrellas Be, es decir, de tipo espectral B con líneas de emisión) **figura 3.7.**

El polvo interestelar no puede ser observado directamente; su presencia se manifiesta por el efecto que produce sobre las estrellas situadas detrás. En ciertas regiones de la Vía Láctea se ha observado que la distribución de las estrellas no es isotrópica, algo que sugiere la presencia de densas nubes oscuras que absorben su luz; algunas de esas nubes indican, por su fuerte absorción, enormes acumulaciones de polvo.

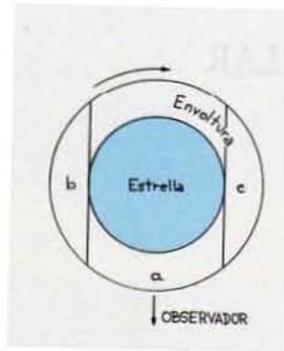


Figura 3.7.

Representación de una estrella rodeada de una envoltura de material. El observador está en el plano de la página. En la parte(a) se originará un espectro de absorción, ya que la estrella esta detrás de la nube de gas; En (b) y (c) se originan las líneas de emisión. Si la estrella con su nube girara en el sentido de la flecha, las emisiones producidas en la zona (b) y (c) se desplazaran hacia el rojo y el azul, respectivamente. De este modo, el espectro de la estrella se hallará cada línea acompañada de emisiones Producidas, una de las características más sobresalientes de las estrellas Be.

W. Herschel había notado, 200 años atrás, que algunas regiones del cielo aparecían con cierto déficit de estrellas; en 1930, el astrónomo norteamericano R. Trumpler probó en forma definitiva la presencia de polvo: se trata de partículas sólidas, con tamaños menores de 10 micras (1 micra es igual $1\ \mu m = 10^{-9} m$), que absorben la luz de las estrellas más alejadas.

Con los instrumentos modernos de observación se ha detectado que una gran cantidad de materia no estelar se encuentra diseminada en el espacio entre las estrellas, las

nebulosas son definidas, precisamente como acumulaciones de apariencia irregular de esa materia, formada principalmente por átomos y moléculas (gas) y partículas sólidas diminutas (polvo). Se considera que existe una densidad de gas de aproximadamente 0,2 a 0,5 átomos /cm³ en los alrededores del Sol, con respecto al polvo se estima un promedio de 1g/cm³.

En el rango óptico, las técnicas básicas empleadas para el análisis del material interestelar son la fotometría (que permite medir la cantidad de luz que se recibe) y la espectroscopia (a través de la que se puede analizar la luz). Fuera de este rango, la Radioastronomía (a través de antenas terrestres) se ha convertido en una importante herramienta para este tipo de investigaciones, como también han resultado de gran importancia los datos recogidos a través de los satélites y sondas espaciales enviadas al espacio.

3.1. Polvo interestelar

La presencia del polvo interestelar se reconoce de la siguiente manera:

a.- Por la muy irregular distribución de las estrellas en ciertas zonas del cielo y.

b.- Por su acción sobre la luz de las estrellas. En este caso se pueden diferenciar cuatro efectos diferentes:

1) Oscurecimiento general de la luz (extinción).

2) Dispersión de (reflexión) y enrojecimiento de la luz.

3) Polarización de la luz.

La materia sólida (es decir, partículas de polvo), muestra una presencia llamativa en la Vía Láctea; en su ausencia, el cielo mostraría una banda mucho más brillante de lo que se ve actualmente. En particular este efecto es notable en dirección a la constelación de Sagitario, donde se ubica el centro de la Galaxia; esa región, extremadamente brillante, en realidad no se observa debido justamente a la presencia de densas nubes de polvo que oscurecen la luz de las estrellas que se encuentran detrás. El análisis de la distribución de esas nubes de polvo muestra que éstas se ubican preferentemente en el plano central de la Vía Láctea.

4) El polvo bloquea la luz de las estrellas más alejadas.

El polvo bloquea la luz de modo que en muchas regiones aparecen manchas en el cielo tales como si fueran zonas oscuras; se hallan rodeadas de estrellas y también de nebulosas muy brillantes. Incluso donde no se observan nubes oscuras lo bastante densas para tapar algunas estrellas, éstas igualmente están afectadas por tenues zonas de polvo de forma irregular, no detectadas directamente.

Desde el hemisferio Sur puede observarse una muy notable nube de polvo conocida como el **saco** de **carbón** que se encuentra en la constelación de la Cruz del Sur a una distancia de 140 pc. El Saco de Carbón se puede observar a simple vista como una región oscura de $6^\circ \times 6^\circ$ entre las

estrellas α y β de la Cruz; se presenta como una zona de la Vía Láctea casi completamente desprovista de estrellas.

La absorción de la luz debida al polvo interestelar produce, en promedio, una disminución de brillo (extinción) de aproximadamente 0.5m cada 1.000 parsec de polvo (0.5m/kpc). Sin embargo, el polvo no se distribuye regularmente en el espacio y, en presencia de aglomeraciones de polvo (nubes oscuras), este valor puede ser varias veces mayor; así encontramos que en algunas direcciones del espacio la absorción puede llegar a ser de 3m o de 4m por kiloparsec, o aún mayor.

Por otra parte, se debe tener presente que el polvo no sólo absorbe la luz de las estrellas, sino que también cambia el color de la luz; en el decir de los astrónomos, la enrojecen, es decir transmiten más fácilmente la luz roja que la luz azul. Este efecto de dispersión selectiva es el mismo que vemos en la atmósfera terrestre donde el polvo suspendido en el aire produce un efecto similar, en las puestas de Sol (y salidas), este aparece de color rojizo que por otro lado el cielo mantiene su coloración azul.

El exceso de color como modificación del color de las estrellas (enrojecimiento), es proporcional a la cantidad de polvo interestelar presente delante de la estrella y, por lo tanto, debe de ser proporcional a la misma extinción.

El enrojecimiento de la luz estelar permite deducir el tamaño de las partículas de polvo. En otras palabras, a través del estudio de la distribución de energía de las estrellas enrojecidas y su comparación con la de estrellas no enrojecidas del mismo tipo espectral, es posible determinar las dimensiones de las partículas.

Se ha encontrado que se trata de granos diminutos; los más grandes son del orden de 10^{-3} cm, lo que equivale a unos 10 micrómetros. Es decir estos granitos son del tamaño o más pequeños que el polvo que vemos flotar en una habitación iluminada por un haz de luz.

El polvo interestelar está compuesto de grafito (carbono) combinado con otros elementos como oxígeno, silicio, hierro, magnesio, y en ocasiones, con una variada gama de moléculas adheridas en su superficie.

Mediante el conteo de estrellas se puede determinar el valor de la absorción y también la distancia de las nubes oscuras. Esos conteos se realizan de la siguiente manera: en la región de la nube oscura se efectúa la cuenta del número de estrellas por intervalo de magnitud aparente, y un conteo similar se realiza en una región adyacente donde aparentemente no habría nubes oscuras. Hasta una cierta magnitud, el número de estrellas es similar en las dos regiones, pero a partir de ese valor límite de la magnitud, en la región oscura disminuye el número de estrellas, luego vuelve a aumentar y la curva resulta entonces paralela a la

región sin absorción. De esta forma se determina la distancia de la nube y el monto de la absorción que produce dicha nube.

También se ha descubierto que el polvo interestelar tiene la propiedad de polarizar la luz que pasa a través de él; se puede demostrar que las partículas se hallan alineadas por la presencia de campos magnéticos. Por consiguiente, del análisis de la polarización de la luz de las estrellas, se puede determinar las características de los campos magnéticos interestelares.

Esto también se puede estudiar a través del efecto Zeeman, que consiste en el desdoblamiento de las líneas espectrales debido a la presencia de campos magnéticos intensos, si se logra medir el efecto Zeeman en las líneas de los espectros estelares, entonces es posible obtener información sobre la intensidad de los campos magnéticos.

Por otro lado las partículas de polvo que aparecen como opacas y oscuras para la luz visible, emiten radiación térmica infrarroja. Ciertas envolturas circumestelares son iluminadas por la estrella central; de esa manera, los granos de polvo son calentados hasta unos 30^0K y en estas circunstancias emiten radiación infrarroja en longitudes de onda desde decenas de micrones hasta cercanas al milímetro. Diversas clases de objetos muy fríos con estas

características han sido detectados a través del satélite infrarrojo IRAS.

Similarmente, ya que el gas interestelar es "invisible", sobre la parte del espectro visible (excepto en las longitudes de onda de ciertas líneas de espectros débiles) son necesarias técnicas especiales (radioastronomía) para observar el gas además del polvo.

3.2. La Radioastronomía

La radioastronomía es una de las ramas más importantes de la investigación astronómica: estudia la radiación electromagnética que abarca la longitud de ondas desde unos pocos milímetros hasta varios metros. Esta radiación es emitida por cuerpos celestes y recibidos por receptores similares a los empleados por la radio o la televisión (tabla 3.1).

Tabla 3.1.

Bandas	Frecuencia	Longitud de onda
AM	55 a 160 kHz	5400 a 1870 m
Ondas cortas	3 a 30 MHz	100 a 10 m
FM y TV (VHF)	30 a 300 MHz	10 a 1 m
(UHF)	300 a 3.000 MHz	1 m a 10 cm
	3.000 a 30.000 MHz	10 cm a 1 cm

3.3. Fuentes de las ondas de radio

Si se dirige un radiotelescopio (**figura 3.8**) hacia el cielo se detecta una fuerte radiación proveniente de la banda brillante de la Vía Láctea; esta radiación no procede de estrellas individuales, sino de materia situada entre las estrellas, la materia interestelar. Las radiaciones recibidas son el resultado de diversos procesos; pueden tratarse de radiación térmica proveniente de un cuerpo incandescente (como el Sol). También hay radiaciones de líneas como resultado de emisión o de absorción de energía (producto de las llamadas transiciones atómicas y/o moleculares).

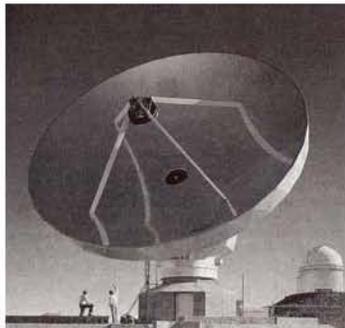


Figura 3.8

Esta antena de 15m de diámetro pertenece al radiotelescopio submilimétrico ubicado en La Silla (Chile).

Por otra parte los electrones en campos magnéticos intensos tienen la propiedad de moverse en espiral a lo largo de las líneas del campo, y en esas circunstancias emiten energía: es la radiación sincrotrón esta radiación se

extiende desde la luz visible hasta las ondas de radio, y es emitida especialmente por las nebulosas gaseosas a muy alta temperatura.

Una de las tareas más importantes de la radioastronomía es la de examinar la radioemisión recibida del cielo y deducir las condiciones en que esta radiación es emitida. En algunos casos se pueden calcular la temperatura, composición y distancia de las fuentes emisoras; para las fuentes extendidas, como por ejemplo nebulosas, se puede obtener también la distribución del brillo.

3.4. Gas Interestelar

Gran parte del gas presente entre las estrellas es hidrógeno, el cual aparece tanto ionizado como atómico y molecular. Las nebulosas brillantes se componen de hidrógeno ionizado y de otros elementos también ionizados; en cambio, el hidrógeno neutro se encuentra distribuido en los brazos espirales de la Vía Láctea y es posible detectarlo a través de las radioondas.

En 1944 el astrónomo holandés H. Van Hulst sugirió la posibilidad de observar radiación del hidrógeno atómico neutro a través de la línea espectral ubicada en la longitud de onda de 21 cm, es decir en la frecuencia de 1.420 MHz. Luego de varios intentos, finalmente en 1951 se la pudo

detectar, comprobándose inmediatamente que se distribuía en el plano de la Vía Láctea coincidiendo su ubicación con los brazos espirales.

Sabemos que en el núcleo del átomo de hidrógeno se encuentra un protón, y a su alrededor gira un electrón; por otra parte, ambas partículas rotan sobre si mismas (propiedad que se denomina espín) **figura 3.9**. Si la rotación de ambas tiene distinto sentido (o polaridad) se dice que el átomo se encuentra en el estado de mínima energía: estado fundamental.

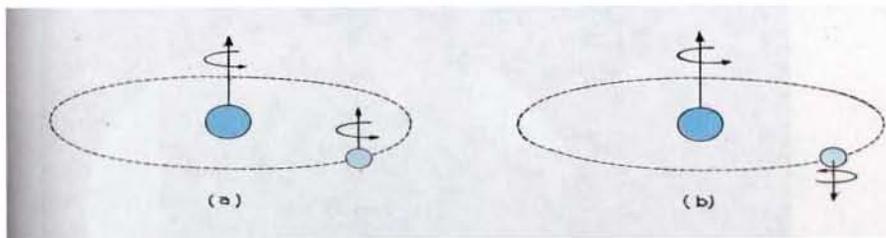


Figura 3.9

Formación de líneas de 21cm. En un átomo de hidrógeno neutro, protón y electrón pueden tener un respectivo espín en la misma dirección (izquierda) o en direcciones opuestas (derecha). Si el electrón cambia repentinamente su sentido de rotación, el átomo gana o pierde una pequeña porción de energía y absorbe o emite energía electromagnética con una longitud de onda de 21 cm.

Si repentinamente el átomo recibe una pequeña cantidad de energía (por una colisión con otra partícula), el electrón cambia su sentido de rotación y el átomo pasa a otro estado donde la polaridad tiene el mismo sentido; entonces, de

manera espontánea, el átomo vuelve al estado de mínima energía e irradia energía de longitud de onda larga, la que precisamente corresponde a 21cm. Si bien la transición es muy poco probable, la gran cantidad de átomos de hidrógeno en el espacio hacen que este fenómeno, que se produce en algunos de ellos, pueda ser observado (radiotelescópica mente).

Como dijimos, el espacio interestelar tiene una gran abundancia de átomos de hidrógeno y radio observación de la línea de 21 cm permite estudiar las características de ese medio: su distribución, velocidad, abundancia, etc. A esas nubes de hidrógeno neutro (es decir en estado fundamental, se le conoce como regiones HI; su temperatura se encuentra entre los 100^0k y 200^0k).

El termino HI indica que el hidrógeno se halla en un estado neutro, no ionizado. Sin en cambio se habla de una región de hidrógeno ionizado, que se designa como región HII.

Cuando dos átomos de hidrógeno se unen, conforman una estructura estable (molécula); se ha encontrado que en las regiones HI, una porción de su hidrógeno se halla en estado molecular. Por ultimo, destacamos que estas regiones se han detectado también rodeando a las regiones HII en las cercanías de estrellas de muy altas temperaturas.

Además el hidrógeno, aparecen otros gases en el espacio interestelar, los cuales son detectados por las líneas que se presentan en el espectro de las estrellas. En 1905 el astrónomo alemán J. Hartmann descubrió la línea interestelar del CaII en una binaria espectroscópica; se observa en estas

estrellas que dichas líneas presentan un efecto Doppler diferente a las líneas correspondientes a la estrella ya que al moverse a distinta velocidad, su velocidad radial es diferente.

Estas líneas interestelares corresponden a material gaseoso presente entre las estrellas y el Sol; entre las líneas más intensas se hallan las correspondientes al calcio ionizado, calcio neutro, sodio, potasio, hierro, y a las moléculas CN, CH y OH. Por otro lado, el ancho de las líneas de elementos interestelares es muy pequeño y por consiguiente se puede deducir que se originan en medios extremadamente fríos; así, mediante la detección de moléculas, se determinaron temperaturas entre 3^0K y 5^0K .

En algunos casos se observan líneas interestelares de un mismo elemento químico, muy aproximadas entre sí donde debería verse sólo una; esto nos indica el carácter complejo de la estructura de las nubes. Sugiere la presencia de varias nubes desplazándose cada una con distinta velocidad; finalmente, nos dice que el material interestelar no parece estar uniformemente distribuido, sino que tiende a acumularse en nubes.

Las nebulosas brillantes o de emisión, como la nebulosa de Orión y de Carina, brillan por influencia de estrellas cercanas muy luminosas y por consiguiente de alta temperatura; se trata de estrellas del tipo espectral O y B. La radiación ultravioleta de esas estrellas es absorbida por los átomos de hidrógeno de la nebulosa, a los cuales ioniza; lo mismo sucede con otros átomos, como el helio. Como hemos

mencionado las regiones donde se observa estas nebulosidades son denominadas regiones HII.

La temperatura de una región HII es del orden de los 10.000^0K ; en ellas las partículas sólidas se han evaporado y se componen fundamentalmente de átomos e iones, conformando una nube de baja densidad. Las regiones HII más brillantes tienen un diámetro de unos 80 pc, lo que permite utilizarlas como indicadores de distancia en galaxias lejanas.

La nebulosa asociada con el cúmulo abierto Pleyades muestra, en cambio un espectro de absorción similar a la de las estrellas más brillantes del grupo; fenómenos similares se han observado en otras regiones. Esto parece indicar que la nebulosa, en este caso de polvo, simplemente refleja la luz de las estrellas: estamos frente a una nebulosa de reflexión.

3.5. Moléculas en el espacio

La primera molécula descubierta en el espacio interestelar fue detectada a través de la absorción en algunas estrellas en el año 1937, a través de las líneas espectrales del ión Metilidine (CH). En años posteriores se observó su ión positivo (CH) y el cianógeno(CN); posteriormente fueron observadas otras moléculas en las regiones ultravioleta y de radio del espectro electromagnético.

La radioastronomía ha permitido un progreso trascendental en el estudio de las moléculas del espacio interestelar, pues ellas tienen la propiedad de emitir radiación en longitudes

de onda de la banda de radio. Algunas de esas moléculas son muy conocidas, como el amoníaco (NH_3) identificada en el año 1968, el agua (H_2O) y el formaldehído (H_2CO) detectadas el año siguiente; también se conoce el monóxido de carbono (CO), el hidrógeno molecular (H_2), el metanol (CH_3OH), y muchos otros compuestos de carbono, oxígeno y nitrógeno.

Es interesante mencionar que el formaldehído es un componente común a una gran variedad de moléculas orgánicas; las frecuencias de las transiciones que se originan en algunas moléculas corresponden a energías detectadas a través de líneas que aparecen en la región milimétrica del espectro, lo cual requiere radio telescopios y receptores adaptados a esas longitudes de onda.

Las observaciones muestran que esas moléculas no se encuentran distribuidas al azar en el espacio interestelar, sino que aparecen concentradas en densas regiones, que se denominan nubes moleculares, se ha podido determinar que la molécula del hidrógeno molecular (H_2) es la más abundante de todas ellas. Esta molécula se forma en la superficie de granos de polvo interestelar, el que actúa de ese modo como catalizador químico. Hay también formación de H_2 primero antes de que haya polvo. Es de suponer que las nubes moleculares contienen gran cantidad de granos de polvo, los que además sirven de protección a las moléculas para evitar su desintegración por la radiación ultravioleta de estrellas muy calientes.

Estas moléculas se encuentran en regiones de baja temperatura (menor a 100^0K) y se forman probablemente por medio de reacciones químicas en la superficie de esos granos. A través de condiciones de equilibrio a lo largo de largos periodos de tiempo (10^6 años) pueden llegar a producirse moléculas cada vez más complejas. En la actualidad el número total de moléculas observadas sobrepasa 100; la más compleja es la molécula de 13 átomos de HC_{11}N (cianotetracetileno).

Entre las moléculas detectadas figuran el cianuro de hidrógeno HCN , el ácido fórmico HCOOH , el etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, etc. Algunas de estas moléculas han sido detectadas en las densas nebulosas gaseosas del espacio interestelar, como las situadas en las cercanías del centro de la Vía Láctea. Mediante la interpretación de los datos que nos suministran esas moléculas se puede determinar la temperatura, presión y densidad de las nubes que las contienen.

Algunas de estas moléculas se encuentran alrededor de estrellas frías, donde existen las condiciones ideales para la formación de diversas especies moleculares. Un caso interesante es el de la estrella CW Leonis, que tiene una envoltura gaseosa de un diámetro de 40 unidades astronómicas (aproximadamente la distancia del Sol a Plutón) y una temperatura de unos 300^0C ; la presión dentro de la nebulosa es extremadamente baja; en esta región se han detectado unas 21 especies moleculares, algunas de las cuales no aparecen en otras regiones.

Alrededor de 65 de las moléculas detectadas contienen carbono, de tal manera que podemos hablar de una química orgánica del espacio; muchas de estas moléculas situadas en el espacio entre las estrellas pueden ser reconocidas como las precursoras de la vida. Así por ejemplo, el cianuro de hidrógeno (HCN) y el formaldehído (H_2CO) se vincula con las condiciones primitivas en la atmósfera de la Tierra, las que pudieron conducir a la formación de los aminoácidos, los principales constituyentes de las proteínas. Parecería que la química de la vida estuviera directamente relacionada con la química del espacio, y las moléculas orgánicas necesarias para hacer posible la vida estuvieran congeladas entre las estrellas.

Muchas moléculas aparecen también en los cometas. Se piensa que ellos son los que quedaron después de la formación del Sistema Solar, y podrían haber sido el nexo entre el espacio interestelar y primitivo sistema planetario.

El estudio del monóxido de carbono (observado en una longitud de onda 2,6 mm), como veremos, ha permitido estimar el tamaño, la masa y la distribución de ese material en las Galaxias, y en consecuencia darnos unas imágenes de la estructura de los brazos espirales, que inclusive en nuestra propia Vía Láctea.

Por otra parte, hacia 1963 se descubrió en el espacio una molécula formada por un átomo de oxígeno e hidrógeno (OH). En el intervalo de ondas de radio, esta molécula presenta un número muy grande de transiciones, las cuales generan líneas de absorción o emisión, relativamente fáciles de detectar. La

emisión de este tipo de moléculas es equivalente a la que conocemos como emisión láser, aunque en el caso específico fotones con longitud de onda larga se denomina emisión máser.

Un láser o un máser (tanto naturales como artificiales), los fotones de cierta longitud de onda estimulan a los electrones, haciéndolos cambiar de estado, es decir provocan una transición a un estado de menor energía y la emisión correspondiente de otros nuevos fotones de la misma longitud de onda. Si se estimulan suficientes electrones, habrá una enorme emisión de energía en una longitud de onda determinada.

Cuando hay muchas moléculas, el proceso da lugar a un intenso haz de microondas en una longitud de onda precisa; dentro de las nubes la radiación, en ciertas líneas espectrales, es amplificada por emisión estimulada. Estos másers son observados en densas masas calientes de gas; generalmente son moléculas de hidroxilo (OH) o agua (H₂O) Las que producen emisiones máser, y se las estudia especialmente por métodos radioastronómicos. En 1991 se detectó emisión máser de la molécula metanol (CH₃OH) en una longitud de onda de 4.5 cm, el diámetro de las regiones emisoras es de muy pequeñas dimensiones del orden de 5 a 10 años luz.

Se han hallado que las emisiones máser están vinculadas estrechamente con regiones de formación estelar; su detección y estudio, por lo tanto, brinda abundante información sobre el medio interestelar en esas regiones.

Por ultimo destacamos que muchas de las moléculas identificadas son clave en la síntesis de aminoácidos, lo que indica que aun en las severas condiciones del espacio interestelar estos son posibles.

CAPITULO IV

LA FISICA DEL MEDIO INTERESTELAR



Figura 4.1.

La Nebulosa de Orión es una nube de gas en la que se están formando estrellas.

En este ultimo capitulo volveremos a citar algunos temas ya mencionados y los complementaremos con nuevos argumentos, debido a que el Medio Interestelar es muy basto.

El universo se constituye de materia y energía. La materia interestelar es la que se encuentra entre las estrellas de una galaxia, está distribuida de manera tan difusa que se calcula que hay solamente un átomo de hidrógeno por cada centímetro cúbico. Y que el espacio entre las galaxias la

materia se distribuye más dispersa todavía, un átomo por cada tres centímetros cúbicos.

El átomo más simple es el hidrógeno, pues consta de un sólo protón y un sólo electrón; el más complejo de origen natural es el del uranio que contiene 146 neutrones, 92 protones, 92 electrones.

Los átomos se agrupan para formar moléculas. Ahora se sabe que la materia es la misma en todo el universo, que su comportamiento es siempre igual y que la base de ella son las partículas fundamentales. También se sabe que debido a las altas temperaturas los átomos se desunen, se ionizan, es decir ellos pierden uno o varios electrones quedando como iones positivos, constituyen el plasma, que recibe el nombre de "cuarto estado de la materia".

Tabla 4.1.

Modelo Estándar

Cuarqs	• arriba • abajo	• encanto • extraña	• top • bottom
Partículas de material	• neutrino	• neutrino	• neutrino
Leptones	• electrón	• muon	• tauon
Partículas de fuerza	electro magnética fotón	Débil W Z	Fuerte gluon

Son 6 las partículas conocidas más fundamentales de la naturaleza y se dividen en leptones y cuarqs. La familia de los leptones está formada por el electrón, el muón y dos tipos de neutrinos; la de los cuarqs, incluye cuatro

constituyentes que permanecen indisolublemente unidos y que hasta hora no ha sido posible separar (**tabla 4.1.**).

4.1. Materia interestelar

Las nubes difusas (nebulosas) están formadas por gas muy enrarecido, en cuyo interior está suspendido el polvo cósmico.

En la vecindad de una estrella caliente el gas de una nebulosa (y principalmente el hidrógeno) se vuelve fluorescente. El espectro de esta nebulosa brillante contiene líneas "prohibidas", líneas especiales que no pueden producirse sino en un gas muy enrarecido (condiciones irrealizables en un laboratorio), por ejemplo la nebulosa de Orión (**figura 4.1**).

El polvo cósmico difunde la luz de las estrellas y juega un papel preponderante en la absorción interestelar de la luz. La materia absorbente está concentrada sobre todo el plano medio de nuestra galaxia, una faja en que la observación a simple vista se manifiesta en forma de grandes acumulaciones de estrellas alternas por zonas oscuras aparentemente desprovistas de estrellas. Lo que ocurre en esas zonas no es que realmente falten estrellas, sino que entre ellas y la Tierra existe una materia oscura que absorbe la luz; un ejemplo de esto es la nebulosa Cabeza de caballo (**figura 3.5**). Se estima que las nubes de material oscuro que hay en nuestra galaxia tiene un espesor de unos 100 a 600 años luz, están formados por gases enrarecidos y partículas de polvo cósmico.

4.2. Influencias en la medida de la distancia

La existencia de este material oscuro se ha evidenciado al medir la distancia a los cúmulos estelares. Al efectuar estas observaciones se encontraron que los cúmulos globulares observados (**figura 4.2.**), a través de determinadas zonas (Correspondientes a las nubes de material oscuro) parecían más grandes de lo que debieran ser, o sea se encontró que los cúmulos más lejanos del Sol tiene un diámetro real mayor que el diámetro medio que corresponde a este tipo de cúmulos.



Figura 4.2.

Un cúmulo globular con más de 100.000 estrellas, cerca del centro de nuestra galaxia. Su distancia a la tierra es de 30.000 años luz o alrededor de 3×10^{26} años luz.

En vista de que era muy importante que, por el sólo hecho de encontrarse esos cúmulos muy alejados de la Tierra, su diámetro real fuera mayor que el de los cúmulos cercanos. Estaban sobre estimadas, o sea que las distancias reales eran menores que las que se habían supuesto.

El error cometido se debía a que por interponerse la materia cósmica, los cúmulos se veían de menor brillo que los observados en donde no se interpone esta materia.

Ese menor brillo se interpretaba antes como una mayor lejanía, lo cual no era correcto.

4.3. Distancias estelares

Una forma de calcular las distancias a las estrellas es mediante la intensidad de las líneas de la Materia Interestelar. Como se observan las estrellas en direcciones en las que se interpone la materia, el gas y el polvo de las nebulosas que difunden la luz difusa, de nuestra Galaxia aparecen las líneas oscuras en el espectro, estas líneas debidas al calcio y al sodio, representan las medidas de las distancias estelares, por que son de tanta mayor intensidad cuando mayor es la distancia a la que se encuentran el objeto celeste observado.

Se sabe ahora que el Medio Interestelar esta formado por el polvo y el gas que hay entre las estrellas. A las regiones con una alta densidad de polvo y gas se le conoce como Nebulosas Interestelares.

4.4. La existencia de átomos interestelares

En todas partes de nuestra galaxia se manifiesta la existencia de átomos interestelares. Estos se descubrieron, debido a que son capaces de absorber en ciertas líneas la

radiación de fuentes luminosas y por ser, estas líneas del Medio Interestelar no comparten el movimiento de las estrellas. Este fenómeno se descubrió primero en las estrellas dobles. Estas líneas de absorción se producen por átomos de calcio y de sodio y el espacio donde se encuentran tienen una densidad que es de un diez millonésimo del mayor vacío conocido en la Tierra.

También se detectó el gas interestelar en emisión, como la línea de 21cm, del hidrógeno neutro. Esta emisión muestra que las galaxias espirales como la nuestra contienen mucho gas atómico.

4.5. Las regiones H I Y H II

Por muchas razones, podemos considerar al medio interestelar constituido principalmente de átomos de hidrógeno, a una densidad promedio de cerca de 1 átomo por centímetro cúbico, aunque regiones individuales pueden tener densidades muy diferentes a este promedio. Las regiones de mayor densidad en las cuales los átomos de hidrógeno son predominantemente neutros son llamadas regiones H I. En las regiones en las que la densidad de la región H I es suficientemente alta, pares de átomos de hidrógeno se combina formando moléculas; la parte más densa del gas que asociamos con la nebulosa de Orión podría tener un millón o más moléculas de hidrógeno por centímetro cúbico. Por lo tanto con frecuencia encontramos moléculas de hidrógeno en las regiones HI.

A una región de hidrógeno ionizado con un electrón faltante se le llama región H II (segundo estado) ya que el hidrógeno el cual conforma una importante porción del gas interestelar, contiene solamente un protón y un electrón, el gas de hidrógeno ionizado contiene protones y electrones individuales. Donde quiera que se encuentra una estrella caliente y esta suministrando suficiente energía para ionizar el hidrógeno, tenemos como resultado una región H II (**figura 4.3.**).

Las nebulosas de emisión son de este tipo de regiones H II; Resplandecen porque el gas se calienta. Y aparecen las líneas de emisión.

El estudio de la óptica y espectros de radio de las regiones HII y de las nebulosas planetarias, nos señala la abundancia de los elementos químicos (especialmente helio nitrógeno y oxígeno). La manera cómo varía esta abundancia en nuestra Galaxia y en otras nos ayuda a escoger entre los diferentes modelos de formación de los elementos y formación de los vastos conglomerados estelares. La variación de la abundancia relativa del centro de una galaxia hacia sus regiones exteriores (llamado el gradiente de abundancia) es diferente para las distintas galaxias. La abundancia de los elementos conocidos como "metales" son mayores en la localización en donde tuvo lugar la mayor parte de la formación de las estrellas; esto indica que sin lugar a duda, estos elementos fueron producidos en las estrellas.

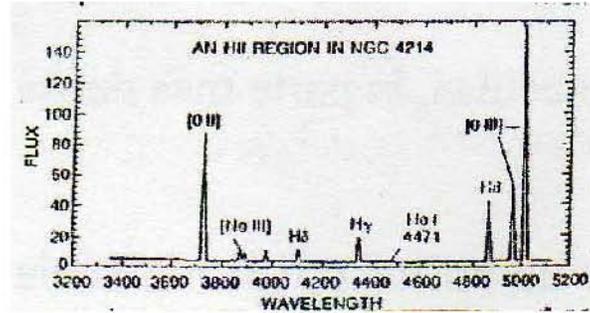
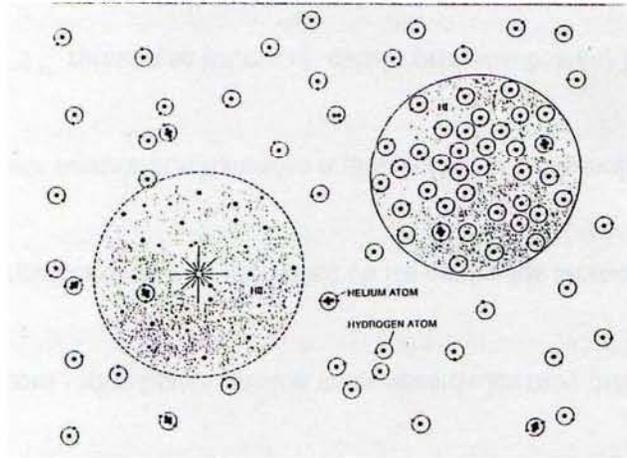


Figura 4.3.

Muestra a las regiones H I y H II, las regiones de hidrógeno neutro H I tiene en promedio una alta densidad, y las regiones H II, son regiones ionizadas. Los protones y electrones son el resultado de la ionización del hidrógeno neutro por radiación ultravioleta de las estrellas calientes. Y los átomos de hidrógeno neutro que se muestran en la figura, los puntos más grandes representan protones y los más pequeños representan electrones. Las estrellas proveen de energía a las regiones H II, sin embargo todo el hidrógeno del área cercana a las estrellas es ionizado. Y sólo algunos de helio tiene elementos de 2 o 3 electrones (fondo), los espectros de emisión de las regiones H II están considerados en la serie Balmer, sin embargo el helio aparece en las líneas prohibidas del oxígeno ionizado y neón (en cuadro se muestra una gráfica de estas transición que raramente ocurre).

4.6. El Enrojecimiento interestelar y la extinción

Muchas estrellas se encuentran parcialmente oscurecidas por la materia que está entre las estrellas y nosotros. La cantidad de oscurecimiento varía con la longitud de onda bajo la cual observamos. La luz azul es dispersada y absorbida por el polvo en el espacio más eficientemente que la luz roja. Dada una distancia la cantidad de luz azul que ha sido desviada en todas direcciones es mayor que la roja. Así nos llega menos luz azul que roja, y vemos las estrellas rojizas (decimos que las estrellas están "enrojecidas") cuando su luz pasa a través del polvo interestelar.

Este enrojecimiento es consecuencia de las propiedades de dispersión y absorción del polvo, esto nada tiene que ver con el "corrimiento al rojo", ya que las líneas espectrales, no cambian en la longitud de onda por el enrojecimiento.

La extinción se mide en magnitudes. Como vimos entre la cantidad de dispersión directa junto con la absorción real de la radiación visible al polvo se le conoce como extinción (**figura 4.4**). La distribución de polvo no es homogénea, inclusive para un objeto tremendamente brillante localizado cerca del centro de nuestra Galaxia, su luz se vería tan disminuida (hasta en 25 magnitudes), que no podría ser vistos desde la Tierra en la parte visible del espectro.

4.7. La Radio Observación de Nuestra Galaxia

Discutiremos primero algunas técnicas básicas de la radioastronomía, y después veremos como se interconecta la

radioastronomía con otros métodos de observación utilizados para la investigación del espacio interestelar.

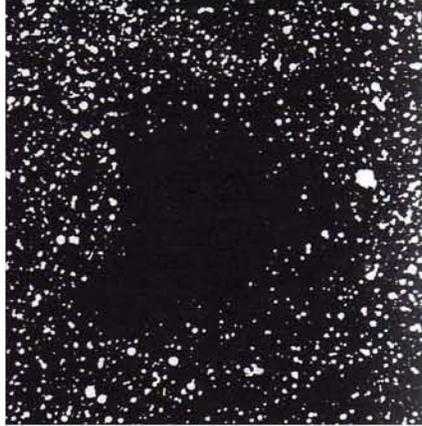


Figura 4.4.

En las regiones oscuras la extinción es tan grande que no podemos ver las estrellas, tras el polvo que causa la extinción. La foto muestra el glóbulo Barnard 86.

4.8. Radio Astronomía

En radioastronomía, al igual que en astronomía óptica, se estudia el espectro, significa que consideramos la densidad promedio de radiación en una frecuencia sin tener en cuenta las variaciones de intensidad sobre los rangos de frecuencias pequeñas. De inmediato fue aparente que los objetos más brillantes del cielo en radio no son idénticos a los objetos más brillantes, en el óptico por ejemplo en luz visible las estrellas son objetos brillantes, en radio las nubes estelares. Los radio objetos fueron denominados con letras y con el nombre de su constelaciones así, Taurus A es el objeto

de radio más brillante en la constelación de Tauro; lo conocemos como la nebulosa del cangrejo (**figura 4.5.**). Sagitario A es el centro de nuestra galaxia. Sagitario B es otra fuente de radio cercano cuya emisión es causada por nubes de gas cercanas al centro galáctico.



Figura 4.5.

Nebulosa del cangrejo. Su luz se debe a electrones que se mueven a gran velocidad en un campo magnético.

4.9 Remanente de supernova

La radiación de radio conocida puede generarse por varios procesos uno de los más importantes es la emisión sincrotónica (**figura 4.6.**) un ejemplo de este tipo de emisiones es Tauro A que es un remanente de una supernova.

Las líneas de campos magnéticos se extienden a través de la nebulosa del cangrejo y más allá de ella. Los electrones tienden a girar en espiral rápidamente a velocidades cercanas a las de la luz en torno de las líneas de campo. Decimos que

se mueve a velocidades "relativistas" ya que cuando los electrones van a tales velocidades se tiene que utilizar la teoría de la relatividad para efectuar los cálculos. Bajo estas condiciones, los electrones irradian con mucha eficiencia.

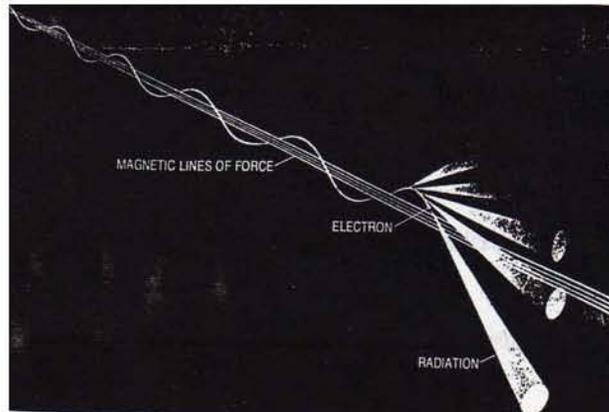


Figura 4.6.

Los electrones que giran en espiral al rededor de las líneas de fuerzas magnéticas a velocidades cercanas a la velocidad de la luz (le llamamos "velocidades relativistas") emiten radiación en un estrecho cono. A esta radiación que es continua y altamente polarizada se le llama radiación sincrotónica. La radiación sincrotónica ha sido observada en el espectro, tanto en la región óptica como en las longitudes de radio.

La sugerencia de que el mecanismo sincrotónico causa radiación a partir de diferentes fuentes astronómicas fue hecha por primera vez en 1950 por varios teóricos soviéticos. Las radiaciones sincrotónica están altamente polarizadas y descubrimientos hechos algunos años más tarde en radio, de la nebulosa del cangrejo (**figura 4.7.**), muestran que la luz que

emite está altamente polarizada fue una importante configuración de tal sugerencia. También la radiación que emite desde la nebulosa del cangrejo es altamente polarizada.

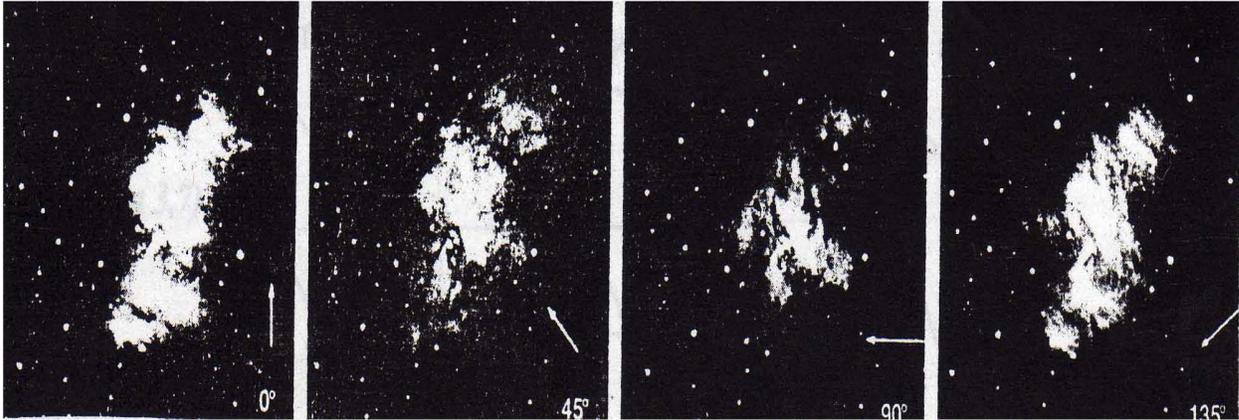


Figura 4.7.

Fotografía de la nebulosa del cangrejo donde se aprecia la luz que es altamente polarizada. Así como las radiaciones sincrotónicas.

La intensidad de la radiación sincrotónica no se encuentra ligada a la temperatura del cuerpo que emite la radiación sino a la fuerza de un campo magnético y al número y distribución de energía de los electrones atrapados en ese campo. Ya que las temperaturas de un objeto no pueden ser derivadas del conocimiento de la intensidad de la radiación, la radiación sincrotónica es una de tales radiaciones. El proceso sincrotónico puede trabajar de manera tan eficiente que un cuerpo astronómico relativamente frío puede producir una enorme cantidad de esta radiación, tal vez tanta que tendría que ser calentado a unos cuantos millones de grados antes de irradiar tal cantidad de radiación térmica a una

frecuencia dada justamente porque la produce un campo magnético. (Por radiación térmica entendemos radiación continua cuyo espectro está directamente relacionado a la temperatura del gas).

4.10. Las líneas del espectro de radio del hidrógeno interestelar (gas neutro)

Alrededor de 1950, a pesar de que los astrónomos de radio se encontraban muy ocupados trabajando con el continuo, se conservaba la esperanza de lograr descubrir la línea de radio espectral. Este descubrimiento permitió lograr mediciones del efecto Doppler.

4.11. La transición de la línea de 21cm. del átomo de hidrógeno

El candidato más adecuado para el descubrimiento de una línea de radio, era una línea producida en los niveles más bajos de energía de átomos de hidrógeno. Se predijo la existencia de una línea a una longitud de onda de 21 cm. Ya que el hidrógeno es por mucho el elemento más abundante en el Universos, parecía razonable que se produjese una línea intensa. Aún más, ya que la mayor parte del hidrógeno interestelar no ha sido calentado por las estrellas o de alguna otra forma, es muy posible que este hidrógeno se encuentre en estado de menor energía posible.

Esta línea de 21 cm. no proviene de una transición de uno de los estados más altos a un nivel más bajos, tan sólo del

nivel 2 al 1 como ocurre en el Lyman alfa, si no que más bien de la traslación entre dos subniveles en los que se divide el hidrógeno a niveles más bajos de energía (**figura 4.8.**).

Para esta discusión en astronomía es suficiente pensar en el átomo de hidrógeno como un electrón orbitando un protón. Tanto el electrón como el protón tiene la propiedad de girar (spin); cada uno de ellos tiene momento angular como si estuviesen girando en su propio eje.

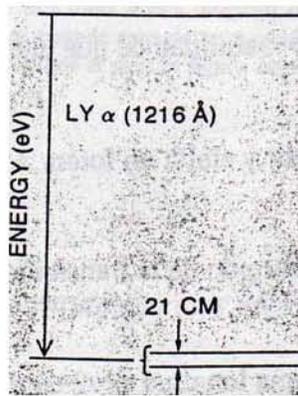


Figura 4.8

Una radiación de 21 cm resulta de una diferencia de energía entre dos subniveles en el estado de energía principal más bajo del hidrógeno. La diferencia en energía es mucho menor que la diferencia de energía que lleva Lyman α . Por lo tanto (ya que $E = h\nu = hc/\lambda$) la longitud de onda es mucho más larga.

El giro del electrón puede ser en la misma dirección del giro del protón, o en dirección opuesta. Las reglas de la

mecánica cuántica prohíben las orientaciones intermedias. Si giran en direcciones opuestas el estado de energía del átomo es ligeramente más bajo que aquel estado de energía que se produce si esta girando en la misma dirección. La diferencia de energía entre ambos estados es igual a un fotón de radiación cuya longitud de onda es de 21 cm.

Si un átomo se encuentra ubicado sólo en el espacio en la parte superior de estos dos estados de energía, con su electrón y protón girando alineados en la misma dirección, hay una pequeña probabilidad de que el electrón que gira salte en forma espontánea a un estado de energía menor y emita un fotón. A esto le llamamos transición de giro y salto (**figura 4.9.**). El fotón surgido de la transición del giro y del salto del hidrógeno correspondiente a la radiación a una longitud de onda de 21 cm. - la línea de 21 cm.-

Acabamos de descubrir como puede surgir una línea de emisión de 21 cm. Pero, ¿qué pasa cuando una radiación continúa pasa a través de hidrógeno gaseoso neutro? En este caso, algunos electrones están dentro de átomos en un estado bajo, esto se puede observar en un fotón de 21cm. y ver como saltarán, colocando al átomo en un estado superior. En este caso la radiación, que emerge del gas tendrá una diferencia de estos fotones y mostrará la línea de 21 cm en absorción (**figura 4.9 inferior**).

4.12. Líneas espectrales de las moléculas de radio

Posteriormente al descubrimiento de la radiación de 21 cm, hecha en el año de 1951, la radioastronomía continuó sus

estudios sobre esta línea espectral producida por el hidrógeno por varios años. Los astrónomos en su afán de encontrar nuevas líneas espectrales, encontraron un candidato nuevo que fue el OH, hidroxil (es un alcohol), una molécula que debía ser relativamente abundante debido a que es una combinación del elemento que más abunda, el hidrógeno con otro de los elementos el oxígeno.

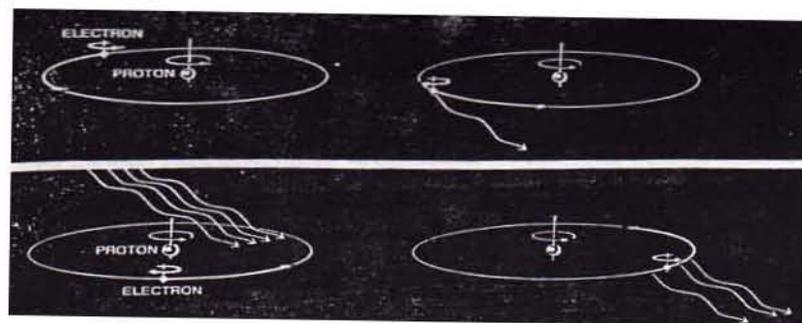


Figura 4.9

Cuando el electrón en un átomo de hidrógeno salta de manera que se encuentra, girando en la dirección opuesta al giro del protón figura superior, dará como resultado la emisión de una línea a una longitud de onda de 21 cm. Cuando un electrón toma la energía de un rayo de radiación que pasa, cuando este electrón cambie su dirección de giro en una dirección opuesta al protón girando en la misma dirección que el protón figura inferior entonces dará como resultado una línea de 21 cm en absorción.

El **OH** tiene cuatro líneas espectrales muy cercanas más o menos a 18 cm. de longitud de onda, se le conoce las intensidades relativas para las cuatro líneas. El **OH** produce emisiones máser. Ya que la abundancia del **OH** Interestelar

parecería mucho menor que aquella de los átomos aislados del hidrógeno u oxígeno (sólo una molécula de **OH** por cada mil millones de átomos de H). Parecería muy poco probable que las cantidades de cualquier molécula compuesta por 3 o más átomos fuera suficientemente grande como para poder ser detectada. La oportunidad de tener tres átomos juntos en el mismo lugar debería ser muy pequeña.

Sin embargo en el año 1968, Charles Tones y sus colegas de Berkley observaron las frecuencias de radio que habían sido predichas como frecuencias del agua (H_2O) y amoniaco(NH_3). Las líneas espectrales eran sorpresivamente fuertes y se detectaron fácilmente.

Muy poco tiempo después, otro grupo de astrónomos utilizaron un telescopio del Observatorio Nacional de Radioastronomía en E.U. (**figura 4.10**) para descubrir (H_2CO) interestelar a una longitud de onda de 6 cm. En este descubrimiento (hecho por Ben Zuckerman, Patrick Palmer, David Buhl) se encontró la primera molécula que contenía dos átomos pesados que no eran hidrógeno.

Para entonces fue evidente que la idea de que sería fácil la formación de moléculas en el espacio era errónea. Se han realizado muchas investigaciones al respecto, pero el mecanismo por el cual se formaron las moléculas no se ha podido determinar en forma satisfactoria. Para algunas moléculas, incluyendo la del hidrógeno, parece ser necesaria la presencia de granos de polvo. En tal escenario, un átomo golpea a un grano de polvo y se adhiere al grano de polvo

(**figura 4.11**). Podrían pasar miles de años antes de que un segundo átomo golpee el mismo grano de polvo y aún más tiempo antes de que otros átomos lo vuelvan a golpear, pero estos átomos se adhieren al grano en lugar de saltar a otro, lo cual les dará tiempo de unirse entre ellos. Pueden llevarse a cabo reacciones complejas en la superficie del grano. Después de alguna manera las moléculas deben desprenderse del grano de polvo, y así es como se relacionan en el espacio con un gas. Tal vez la incidencia de la radiación ultravioleta o la energía que está siendo emitida en la molécula sea lo que le permite escapar de la superficie del grano.

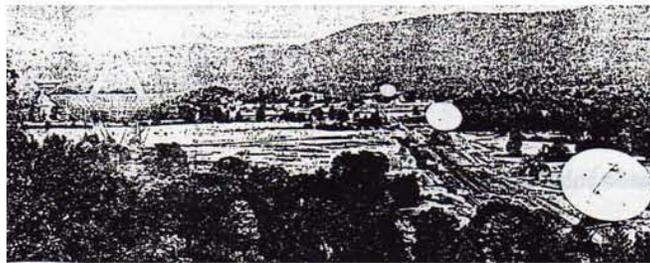


Figura 4.10

Una vista general del observatorio nacional de radio astronomía en Green Bank Virginia del oeste. A la derecha están tres antenas que se utilizan juntas como un interferómetro. La antena de 91 m se encuentra frente a la de 43 m en el extremo izquierdo, la cual fue usada en el descubrimiento del formaldehído interestelar

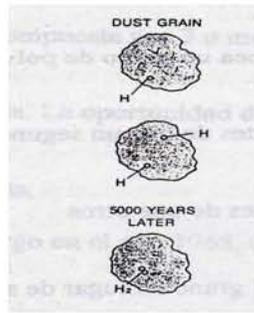


Figura 4.11.

En una fase intermedia las moléculas de hidrógeno son formadas en el espacio con la ayuda de granos de polvo.

Aunque las moléculas de hidrógeno se formaron sobre los granos de polvo existe una fuerte tendencia que sostiene que la mayoría de las moléculas se formaron en el gas interestelar sin necesidad de los granos de polvo.

Estudios recientes, tanto teóricos como de laboratorio, indican que podría ser de particular importancia, las reacciones entre moléculas neutras y moléculas ionizadas.

Muchas de estas cadenas comienzan con un hidrógeno molecular, formado sobre muchas incertidumbres en la teoría. Se cree que la formación de moléculas interestelares es el resultado de un proceso único.

Después de los descubrimientos del agua, amoníaco y del formaldehído (aldehído fórmico o metanol) en el espacio interestelar se sucedieron los descubrimientos uno tras otros.

Muchos radioastrónomos observaron las longitudes de onda de líneas de espectros de moléculas que contiene elementos en abundancia y pudieron observar la radiación.

Algunas veces las líneas espectrales se encontraban en Observaciones y otras veces en emisión. Eventualmente los astrónomos y químicos empezaron a hacer mediciones de diferentes frecuencias, especialmente para ser utilizados para la búsqueda por telescopio de estas líneas.

La lista de moléculas descubierta aumento gradualmente, encontrando moléculas de tres átomos tales como amoniaco y agua, y moléculas de cuatro átomos como el formaldehído, así, como moléculas más complejas. Hoy en día se han descubierto poco más de 50 moléculas en el espacio interestelar. Todavía quedan cientos de líneas espectrales sin identificar, algunas de las cuales son, sin lugar a dudas, de otras moléculas más.

El estudio de las líneas espectrales proporciona información sobre las condiciones físicas, tales como temperatura, densidades y movimientos, en las nubes de gas que emiten las líneas. Por ejemplo; el formaldehído radia solamente cuando la densidad es más o menos diez veces aquella del gas cuando el monóxido de carbono irradia. Las nubes que emiten líneas moleculares son casi siempre tan densas que los átomos de hidrógeno se han transformado en moléculas de hidrógeno y emiten muy poco en la línea de 21cm. poco más de 50 moléculas en el espacio interestelar. Todavía quedan cientos de líneas espectrales sin identificar, algunas de las cuales son, sin lugar a dudas, de otras moléculas más.

El estudio de las líneas espectrales proporciona información sobre las condiciones físicas, tales como temperatura, densidades y movimientos, en las nubes de gas que emiten las líneas. Por ejemplo; el formaldehído radia solamente cuando la densidad es más o menos diez veces aquella del gas cuando el monóxido de carbono irradia. Las nubes que emiten líneas moleculares son casi siempre tan densas que los átomos de hidrógeno se han transformado en moléculas de hidrógeno y emiten muy poco en la línea de 21cm.

Los estudios de las líneas espectrales moleculares han sido usados junto con las observaciones de 21 cm. Para mejorar los mapas de la estructura espiral de nuestra Galaxia.

En particular las observaciones del monóxido de carbono (CO) han proporcionado mejor información sobre otras partes de nuestra Galaxia mucho más lejanas que la distancia del Sol al centro de la Galaxia. El resultado ha sido una espiral de 4 brazos (**figura 4.12.**). Pero todavía existen variedad entre las diferentes espirales que han surgido y que habrá que estudiarse. Uno de los modelos a considerar, es la región interior, aunque las regiones interiores parecen ser más complejas. Estas diferencias entre el interior y el exterior de la Galaxia podría ser o no real. Hay señales probablemente reales, de brazos parciales o protuberancias, además de los cuatro brazos principales. Por lo cual se dice que nuestra Galaxia es de forma espiral no muy ordenada.

En la actualidad, la astronomía ha avanzado en las técnicas de observación, principalmente en el estudio y

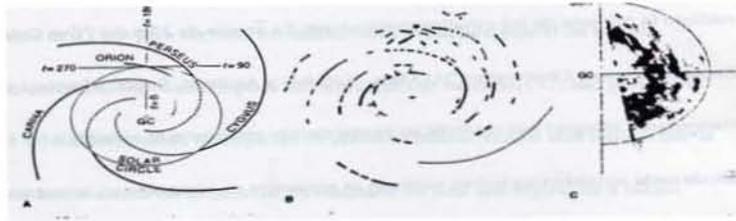


Figura 4.12

- A) En la figura se observa una espiral de 4 brazos que se ha obtenido mediante la línea de 21 cm de hidrógeno y a de más se puede observar la estructura de la espiral de nuestra Galaxia. El círculo que se destaca marca la distancia que hay, del Sol al centro de nuestra Galaxia. Las líneas en la espiral que están continuas muestran la extrapolación con respecto a las líneas punteadas del interior y están a una distancia del centro de 4 parsec. Se a observado principalmente tres de los brazos de la espiral en donde se destacan las observaciones de las constelaciones de Orión Perseo Carina, en el cuarto brazo se puede observar una galaxia simétrica B)Se presenta la estructura de la parte interna de nuestra Galaxia la estrella que aparece representa a nuestro Sol y la cruz (+) representa el centro de la Galaxia. El brazo se expande en un radio de 3.6 kpc esta marcado con flechas. Los segmentos que se aprecian parecen que están en colisión estas observaciones se basan en la línea de 21 cm de hidrógeno también observado en el CO aunque más débilmente. La estructura corresponde a los 4 brazos de la espiral, en otras regiones de emisión aparecen en forma de un espolón y hace que los brazos se bifurquen. C) Se presenta un mapa basado en los datos obtenidos, de alta resolución del CO, don de se aprecia la falta de visibilidad en los brazos de la espiral las regiones entre 4 y 6 Kpc y cerca de los 7 kpc son más ring like que la espiral. Estudios realizados en otras galaxias prueban que la visibilidad de los brazos de la espiral es mejor y que a de más es más común que en otras regiones de la Galaxia pero esto no ocurre en las regiones internas donde la observaciones se dificultan, este caso podría ser también el de nuestra galaxia.

análisis de las líneas espectrales (milimétricas), con las que se realizan la mayoría de los estudios moleculares. La antena de 35 m. del "Five College Radioastronomy Observatory" (U. Mass- Amherst y Amherst, Smith, Mtholyoke, y Hampshire Colleges) tienen un escudo receptor más sensible a las longitudes de onda milimétricas cortas, también se encuentra en operación un telescopio Germano-Franco-Español de 30m. en España, y también un Japonés de 45m. Adecuado para la observación a estas longitudes de onda.

La técnica de la interferometría, la cual permite el uso de varias antenas juntas para lograr el equivalente de un antena gigante, está siendo explotada a longitudes de onda milimétrica. En Francia se encuentra un interferómetro Germao-Franco-Español con 3 antenas de 15 m. por otra parte, la Universidad de Berkeley, de Illinois y la de Marylan están expandiendo un conjunto de telescopios en Hat Greek, California, a fin de obtener un conjunto de antenas de 6m. en Japón se están construyendo otros conjuntos de antenas de 10m.

4.13. EL Hidrógeno molecular

La baja temperatura que existe en el espacio interestelar, hace que el hidrógeno molecular sólo se excite en sus niveles más bajos de energía, y las líneas que se obtienen en estos niveles corresponden a la radiación del ultravioleta; como nuestra atmósfera no permite el libre paso de la radiación ultravioleta, fue necesario hacer las observaciones desde el

espacio para poder observar las líneas de H_2 . La primera vez que se observó el H_2 fue desde un cohete en el año 1970.

En 1972 se puso en órbita un telescopio de 90 cm. que se le dio el nombre Copernicus. Dicho telescopio se dedicó exclusivamente a observar el material interestelar.

Los observadores podían dirigir el telescopio a una estrella y buscar las líneas de observación causadas por el gas en el espacio interestelar a medida que la luz de la estrella pasaba a través del gas en su ruta hacia nosotros. Esto facilita encontrar líneas de absorción interestelar, ya que las estrellas en sí no emiten líneas propias, los científicos hicieron observaciones en direcciones de las estrellas del tipo B, que tiene pocas líneas y son muy brillantes (**figura 4.13.**).

Ya que la radiación ultravioleta divide fácilmente a la molécula de hidrógeno, los observadores no encontraron casi nada de hidrógeno molecular en ninguna dirección. Pero cada vez que miran en la dirección de las estrellas muy rojizas, encontraron una alta fracción de hidrógeno en forma molecular; más del 50% probablemente, en estas regiones, la causa del color rojizo se cree que es debido al polvo, que protege al hidrógeno de la división que le es provocada por la radiación ultravioleta. Hay también fundamentos teóricos para creer que el hidrógeno molecular se forma en los granos de polvo, así que parece razonable que la alta fracción de H_2 se encuentre en las regiones con mayor cantidad de granos de polvo.

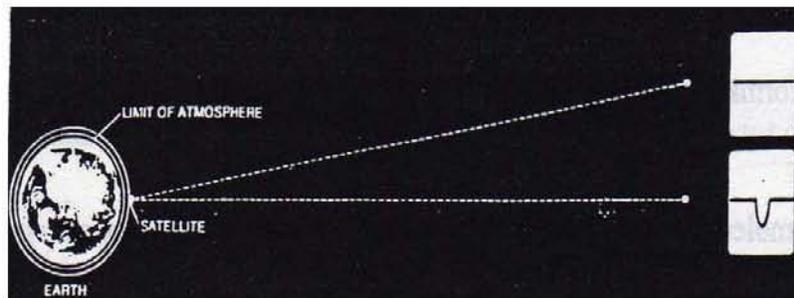


Figura 4.13

En la figura se observa la atmósfera de la Tierra y a su vez la órbita que describe el satélite Copérnico, el cual es utilizado en la observación de estrellas, que están emitiendo más o menos un espectro continuo (una de las estrellas que es observada por el satélite es del tipo B que emite líneas espectrales por efecto Doppler, estas líneas, son estudiadas ya que proporcionan información de la velocidad de rotación de las estrellas). Cuando una nube de gas esta interfiriendo entre el satélite y la estrella, esta nube hace una absorción de las moléculas o átomos que se encuentran dentro de la nube como resultado.

4.14. La formación de las estrellas

En el capítulo dos se hace mención de cómo nace y se forma una estrella, a partir de una protoestrella. Sin embargo es necesario ampliar un poco más sobre el tema en cuestión ya que no hemos mencionado donde o en que partes del Universo ocurre este fenómeno tan maravilloso. Se ha observado que la mayor parte de las líneas en radio espectro parecen provenir de un número limitado de lugares del espacio (nubes moleculares).

Observaciones en el infrarrojo y en radio nos han dado información, sobre la manera de como se forman las estrellas a partir de estas nubes de gas y polvo.

Las nubes moleculares gigantes tienen un tamaño determinado. Existen miles de millones de ellas en nuestra galaxia. Las más grandes tienen aproximadamente 100 parsecs de lado a lado tienen de 100,000 a 1000,000 de veces la masa del Sol. La densidad interna de estas nubes moleculares es de cerca de 100 veces la del medio interestelar que las rodea. Como las nubes moleculares gigantes se dividen para formar estrellas, su periodo de vida es de 10 a 100 millones de años.

La presencia del monóxido de carbono nos revela a las nubes moleculares, sin embargo es el hidrógeno molecular lo que es realmente significativo en términos de la masa. Es difícil detectar directamente al hidrógeno molecular aún que la cantidad de hidrógeno molecular es 10 veces mayor que el polvo, pues no emiten en radio frecuencias. Así de esta manera nos debemos conformar por el momento con observar el monóxido de carbono que actúa como guía y cuyas líneas espectrales son excitadas por el choque con moléculas de hidrógeno. Así el monóxido de carbono nos indica en donde se encuentran las moléculas de hidrógeno.

En nuestra línea de visión podemos observar varias nubes moleculares que se traslapan. Una nube molecular gigante sufre fragmentaciones en muchos pedazos que a su vez son más densos y, de alrededor de 1 parsec de radio. Estos fragmentos

se vuelven aún más pequeños y densos para formar una estrella o en muchos casos varias estrellas.

Algunas veces vemos nubes más pequeñas, llamadas glóbulos o glóbulos de Bok (en honor a Bart Bok quien estudio exhaustivamente estos objetos); las siluetas de algunos de los glóbulos más pequeños son visibles en contraste con las regiones HII que son brillantes. Otros son más grandes y parecen aislados contra el fondo interestelar (**figura 4.14.**); se sabe que hay aproximadamente 200 glóbulos grandes a una distancia de unos 500 parsec del Sol (a un 5% de camino al centro de la galaxia), y podrían existir 25 000 en nuestra galaxia. Se ha pensado que los glóbulos podrían encontrarse en el proceso de convertirse en estrellas ya que son oscuros y por consiguiente densos. Las observaciones de las líneas moleculares de los glóbulos más grandes indican que podrían tener suficiente masa como para estar en el proceso de colapso gravitacional. Y aunque han habido dudas sobre si las estrellas se forman en glóbulos más pequeños, la sonda espacial IRAS descubrió radiaciones infrarrojas que muestran evidencias de que hay estrellas en proceso de formación por lo menos en algunos de ellos (glóbulos), por ejemplo se descubrieron unas cuantas estrellas, cada una de ellas con una masa más o menos como de la masa del Sol y de tan sólo unos 200 años de edad, en el glóbulo dominante Barnard 5.

En su viaje la sonda espacial IRAS ha estado explorado como un todo, el área cercana al Sol, que es la zona que mejor ha estudiado IRAS; distinguimos que en nuestra galaxia cada año se esta forman una estrella por lo menos del tamaño de una masa solar.

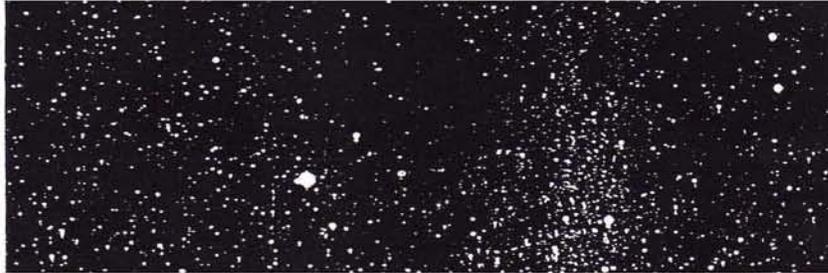


Figura 4.14

En la figura se observa el cúmulo globular, Barnard 355. La pequeña nube de gas y polvo aparece como una cavidad o un hueco en la distribución de las estrellas. Se ha asociado a este fenómeno a las estrellas que están distribuidas uniformemente y semejantes a un hueco con resultados de la extinción causada por el polvo sobre las líneas de observación. Las emisiones de monóxido de carbono han sido observadas en estas regiones, esto significa que algunas veces están en realidad presentes. El tamaño del glóbulo es de un ángulo de casi 4 arcos de minuto.

Las observaciones de las moléculas interestelares han mostrado que el gas en algunas de las estrellas recién formadas fluye rápidamente en dos flujos opuestos. Estos flujos bipolares en general llevan hacia el exterior más de una masa solar de materia y transportan una enorme cantidad de energía (**figura 4.15**), son flujos de gran importancia para la evolución de las estrellas jóvenes. El flujo de gas se proyecta hacia el espacio a una distancia cercana de lo que recorre la luz en un año (año luz), y el espacio puede ser atravesado por el gas a velocidades muy grandes cercanas a la velocidad de la luz.

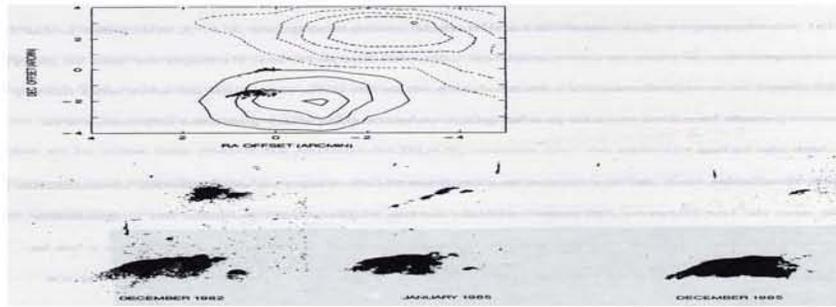


Figura 4.15.

La variedad de las exposiciones que se dan dentro del CCD es resultado de las imágenes bipolares seguidas de una exposición que se encuentra dentro del contorno de un mapa, el cual se exponen las distribución de ondas de radio para el monóxido de carbono. Y el sodio se localiza en el contorno y esta marcado con líneas de color azul, estos lóbulos están representados por líneas de puntos en el contorno y están marcando el cambio al rojo del lóbulo. La nebulosa más grande tiene un tamaño aproximado de 1 minuto de arco teniendo una hondonada, que no es lo mismo que una estrella, pero en cambio si es una nebulosa de refracción, la cual refleja la luz de alguna fuente exterior, esto es una ventaja de un punto fuente, de la línea del infrarrojo, que es una verdadera fuente que esta dentro por lo regular de alguna región de la nebulosa más próxima. La nebulosa inferior no fue visible sobre la fotografía tomada en el año de 1955 pero fue visible en 1979. Un pulso de luz, que presumiblemente fue emitido en el año 1984, ilumino un chorro de gas que se encuentra dentro de la nebulosa provocando una desviación hacia el rojo del espectro del lóbulo dipolar del flujo; El CCD proporciona imágenes de la desviaciones hacia al azul del espectro del lóbulo del mismo pulso tiene muchas causas, el abrillantamiento de la parte izquierda del objeto más bajo sobre la ultima estructura. EN 1999 se detecto una nueva estrella esta es diferente debido a que esta escondida entre el polvo.

En por lo menos uno de los casos, los objetos Herbi-Haro se encuentran localizados al final de uno de los chorros; el movimiento de los objetos HH pueden ser impedidos de regreso hacia la misma región de donde se origino el chorro. En este caso y en la mayoría de los casos, en el centro se encuentra localizada una fuente de infrarrojo (a menudo de imágenes en

la parte visible del espectro). Ya nos habíamos encontrado con un chorro de gas en los cuásares. Los astrofísicos se están dando cuenta que las señales de activada violenta tales como los chorros son mucho más comunes de lo que se pensaba.

4.15. Un caso de estudio; La nube molecular de Orión.

Se han detectado muchas líneas de radio espectrales sólo en una nube de gas específico localizada en las coordenadas de Orión no muy lejos de la nebulosa de Orión en sí. Esta es la nube molecular de Orión (**figura 4.16**) y que se encuentra profundamente inmersa en su nebulosidad. La nube es relativamente accesible al estudio ya que se encuentra a tan sólo 500 parsecs de distancia de nosotros. Aunque menos del 1 % de la masa de la nube es polvo, esto es suficiente para impedir que la luz ultravioleta que es emitida por las estrellas estén separando a las moléculas de la nube; por consiguiente las moléculas se pueden acumular, en lugar de separarse. Sabemos que en estas regiones se encuentran estrellas jóvenes (el trapecio, un grupo de estrellas rojas claramente visibles a través de un telescopio pequeño, es para la nebulosa de Orión una fuente de ionización y energía). Las estrellas del trapecio son relativamente jóvenes, tiene cerca de 100,000 años. La nebulosa de Orión, la cual se destaca claramente en la parte visible, es una región HII localizada a lo largo de la nube molecular (**figura 4.17**) la nebulosa contiene mucho menos masa que la que tiene la nube molecular.

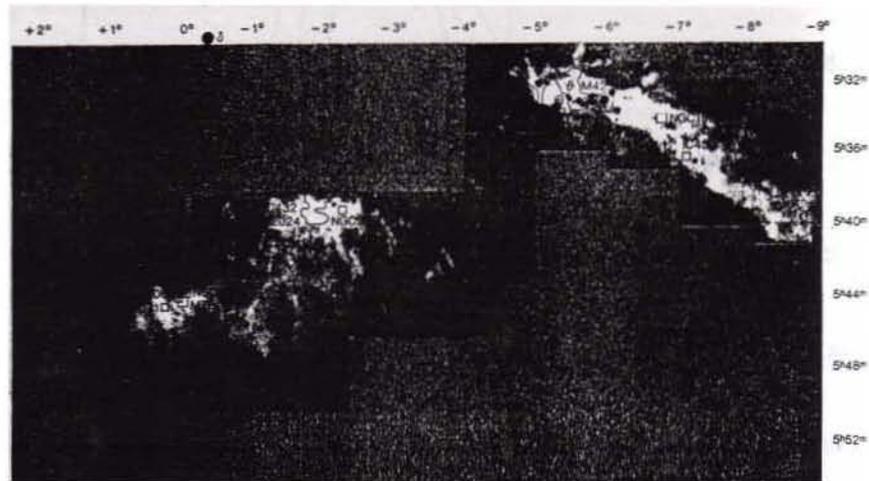


Figura 4.16.

En esta figura se observa una nube de polvo molecular, que esta emitiendo información en longitudes de radio esta nube se encuentra localizada en la constelación de Orión. También se le conoce como la nebulosa de Orión M42. En la figura se ve la posición de las estrellas visibles y las nebulosas, en las cercanías de la parte posterior de la nebulosa M42 se a localizado una cadena moléculas que se encuentran en la región HII de esta nebulosa.

Cerca de la nebulosa de la cabeza del caballo se ha localizado regiones HII pero principalmente están orientadas hacia el oeste (en la parte superior de la imagen) de la nube molecular es aquí donde se localiza la fuente de ionización que a su vez es propagada a través del plano del cielo. La región HII conocida también como NGC 2040, próxima a la cabeza del caballo, en su parte posterior es una nube molecular que se puede apreciar en una forma brillante y espectacular es M42 que se localiza también en la nebulosa de Orión es una nube molecular oscura. También se localiza una zona conocida como el corazón donde hay una gran actividad de nacimientos de estrellas y que están emitiendo en el infrarrojo emisión KLEIN MANN por debajo de la nebulosa. También conocida como un punto infrarrojo llamado objeto Becklin-Neugebaure, también contiene una fuente molecular de gas con un alto contenido de energía de fusión.

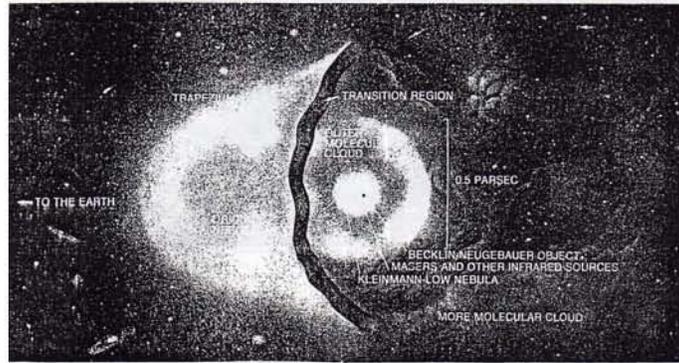


Figura 4.17

Se aprecia la estructura de la nebulosa de Orión y la nube molecular de Orión.

La radiación ultravioleta de la región HII son la causa del frente de ionización en el borde de la nube molecular. Una onda de choque se forma y concentra gas y polvo en la nube molecular para formar las protoestrellas.

Se puede deducir las propiedades de las nubes moleculares comparado con la radiación proveniente de sus diversas moléculas estudiando la radiación de cada una de ellas en forma individual. La densidad es de 100 partículas por centímetro cúbico en los límites exteriores que podemos ver, y se incrementa hacia el centro de la nube molecular. La nube puede llegar a ser en su centro tan densa como 10^6 partículas/ cm^3 . Pero esto es miles de millones de veces menos densa que la atmósfera terrestre, aunque es substancialmente más densa que la densidad interestelar promedio de más o menos de 1 partícula por cm^3 . Una de las más brillantes de todas las fuentes de infrarrojo en el firmamento, es un objeto en la nebulosa de Orión, que se encuentra exactamente

en el centro de la nube molecular de Orión. Este objeto fue descubierto por Erick Bercklin, y Gerry Neugebauer El objeto Becklin - Neugebauer (**figura 4.18**) también conocido como el objeto B-N, tiene un tamaño de 200 unidades astronómicas de lado a lado. Su temperatura es del orden de 600^0K . el objeto B-N es el candidato idóneo para ejemplificar el momento del nacimiento de una estrella. Visto desde la Tierra, el objeto B-N se encuentra tras tal cantidad de polvo que lo vemos muy opaco. Las comparaciones de algunas de las líneas del espectro nos indican que tan rojo es el objeto B-N. Donall Holl, y sus colegas concluyeron que se trataba de una estrella joven con un espectro de tipo B; una estrella roja masiva que ya se encuentra operando, aunque muy reciente mente, en su fase de fusión nuclear.

Otras fuentes de infrarrojo se encuentran presente muy cerca del objeto B-N y probablemente también contenga una o varias estrellas en formación. También en las cercanías se encuentran pequeñas e intensas fuentes de radiación máser provenientes de diversas moléculas. Este tipo de máseres interestelares sólo puede venir de fuentes pequeñas, del tamaño de nuestro sistema solar y, también son evidencias de estrellas en proceso de formación.

4.16 IRAS, imágenes infrarrojas y la formación de estrellas

Las nubes de objetos galácticos no estelares descubiertos por IRAS incluyen regiones HII, nubes moleculares que contiene estrellas en estado previo a la secuencia principal y densa masa de polvo. En las nubes moleculares estudiadas se encontraron docenas de regiones de gas que contienen de 5 a

50 masa solares de material, tiene fuentes de puntos infrarrojos en su interior. Estas fuentes, ahora con una temperatura de tan sólo 100^0K , son probablemente estrellas en formación de aproximadamente una masa solar. Algunas son toda vía tan sólo protoestrellas, que obtienen su energía de las contracciones gravitacionales. Otras tal vez a penas comienzan su fusión, y son como las estrellas T de Tauro.

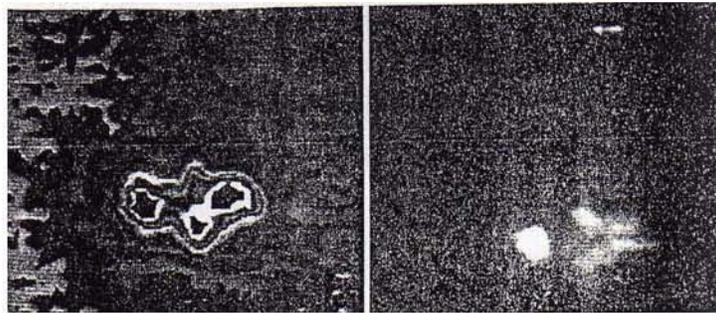


Figura4.18

Imagen del objeto Kleinman- Low de la nebulosa de Orión, es una región de formación de estrellas en la parte brillante de la imagen derecha es el objeto Beecklin - Neugebauer, probablemente una de las jóvenes estrellas. Y del lado izquierdo un mapa de igual intensidad.

IRAS también podrías haber detectado señales de formación de objetos de masa superior.

Hay evidencias de ondas y anillos en formación de estrellas alrededor de viejos sitios de formación de estrellas. Estas evidencias apoyan la teoría de formación de estrellas por reacción en cadena. La sonda IRAS no sólo descubrió en glóbulos en nuestra galaxia estrellas en proceso de formación sino también evidencias similares en otras

galaxias. Por ejemplo, su exploración en la galaxia de Andromeda (**figura 4.19.**) mostró un anillo de emisión infrarroja brillante así como una región infrarroja brillante cercana al núcleo de la galaxia lo que indica la reciente formación de estrellas en ambos lugares.

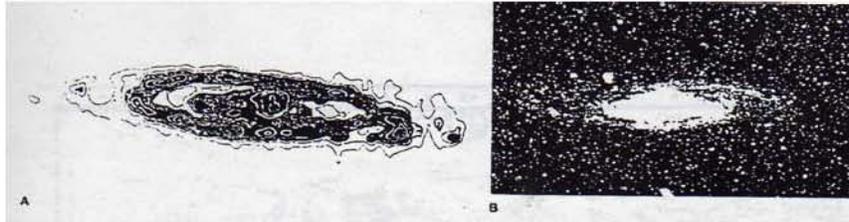


Figura 4.19

- A) La nebulosa de Andr6meda observada en ondas del infrarrojo por la nave IRAS.
- B) La misma nebulosa pero observada desde un telescopio 6ptico de 20 cm.

Todavía no sabemos porque se deberan formar estrellas en tales anillos. Las observaciones de IRAS de la nebulosa de Tarántula la cual resplandecen en un tono rojizo $H\alpha$ que se encuentra en la gran nube de Magallanes, mostr6 muchas estrellas en proceso de formaci6n, cada longitud de onda infrarroja observada tiende a mostrar un estado de evoluci6n diferente.

Otro notable descubrimiento de la sonda IRAS fueron las galaxias con formaci6n estelar en un r6gimen de brotes en las que se formaban un gran número de estrellas en forma simultáneas. Ahora se está estudiando qué tan común son estos casos. Ya es evidente que estos brotes de formaci6n estelar

son comunes en galaxias que se encuentran en interacción con otras galaxias.

Las nuevas técnicas de imágenes infrarrojas hechas en la Tierra nos muestran claramente estrellas que se encuentran en proceso de formación.

Resumen

(CONCLUSIONES)

En las páginas de esta tesis hemos presentado en forma general lo que es el Medio Interestelar a partir de las investigaciones astronómicas realizadas hasta nuestros días.

La astronomía actual no es estática, sino dinámica las teorías nuevas deben resistir los resultados de los programas de investigación así como los descubrimientos insospechados.

Ahora sabemos que las estrellas, son masas de gas a alta temperatura que tienen diámetros desde unos cuantos miles a varios centenares de millones de kilómetros. En sus centros, las reacciones nucleares están liberando regularmente energía.

Las galaxias que en algunos casos, están bien definidas en su estructura, no dejan de ser fascinantes así como las que están totalmente deformes y otras poseen estructuras simétricas con brazos, se han elaborado teorías del por que tiene estas formas espirales (y otras más).

Al ir desarrollando esta tesis se ha hecho referencia a los grandes espacios oscuros que separan a las estrellas como si estuvieran vacíos, pero en realidad no es así. Se sabe actualmente que entre las estrellas hay gas y polvo, es decir, Materia Interestelar. Esta materia representa, al menos un 20% de la masa de la Vía Láctea.

Destacamos la importancia de las nebulosas de Orión por

su cercanía y el nacimiento de estrellas que en ella se generan.

Para llevar acabo el estudio del medio interestelar es necesario emplear la astrofísica que es la física empleada para explicar la naturaleza de los astros.

En algunas de las páginas presentes de esta tesis se han tratado de temas muy bien conocidos, otros de problemas sobre los cuales aún no se sabe casi nada o están por ser aclarados en un futuro cercano. A caso sea esta la gran seducción de la Astronomía: que a pesar de la potencia de nuestros telescopios, de las sondas espaciales y de la amplitud de los conocimientos existirá el gran enigma que desafía a los mejores intelectos de la humanidad.

Luis Felipe Rodríguez

El Futuro de la Radioastronomía
Revista de divulgación de la
ciencias ¿Cómo vez?
Ed. UNAM
Marzo del 2001 número 28

Pilar Ruiz la Puente,
Alex G. Kim
Y Nicholas Walton

Supernovas y Expansión
del Universo
revista Scientific American
Marzo de 1999

Pasachoff and Kuther

University Astronomy
Ed. W.B. Saunders Company

Horacio tignanelli

Objetivos del Universo
Ed. Colihue Agosto de 1999