

TEMA 8

- * La Vía Láctea: Disco y bulbo galáctico.
- * Estudios cinemáticos. Rotación de la galaxia.
- * Materia interestelar.
- * Cúmulos abiertos y globulares.
- * La determinación de la posición del Sol en nuestra galaxia.

La Vía Láctea



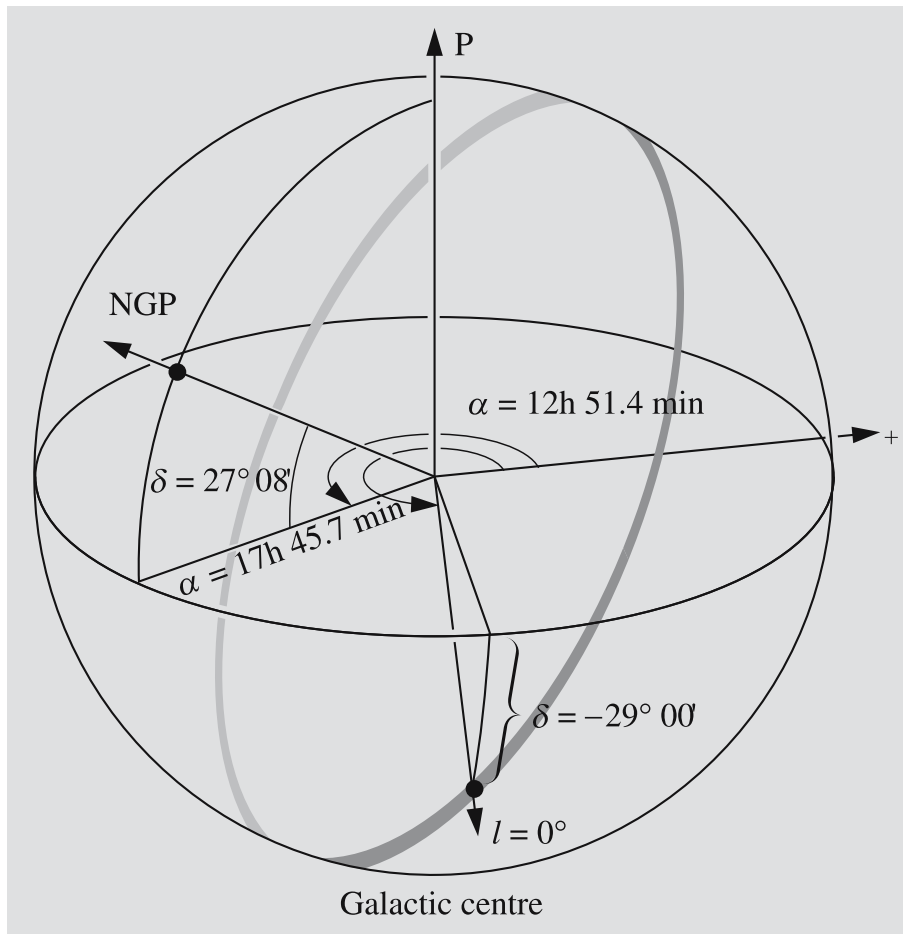
Presenta el aspecto de una franja lechosa que atraviesa todo el cielo. Galileo Galilei descubrió con su primer telescopio que la nebulosidad era producida en realidad por innumerables estrellas.



Nuestra galaxia vista desde el Observatorio Paranal, Chile.

Las zonas oscuras delatan la presencia de mucho polvo cerca del plano galáctico.

Coordenadas galácticas



Para el estudio de la estructura de la Vía Láctea es conveniente utilizar un sistema de coordenadas basado en el plano galáctico.

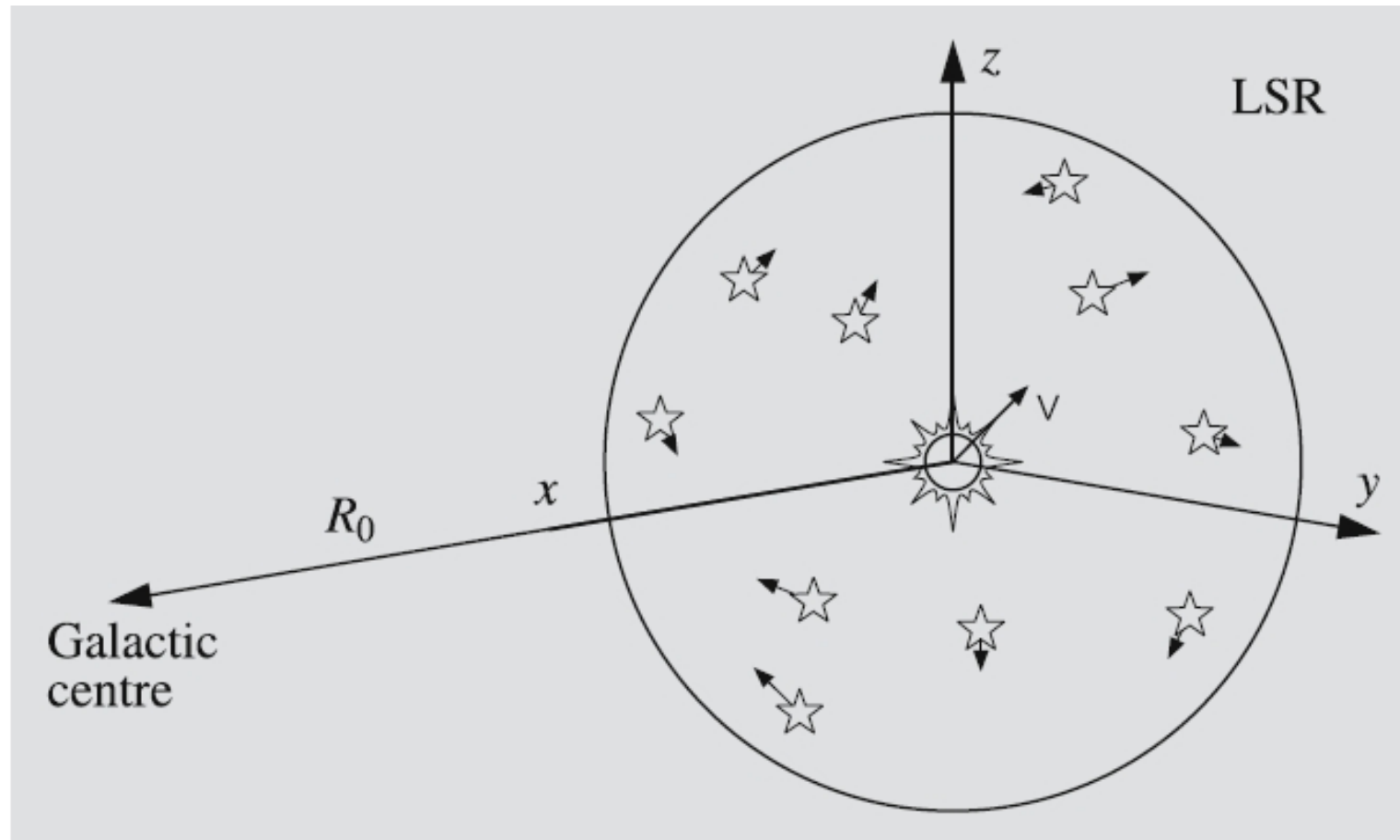
Longitud galáctica (l):

Medida sobre el plano galáctico, toma como origen la dirección del centro galáctico localizado en la constelación de Sagitario ($\alpha=17^{\text{h}} 45,7^{\text{m}}$, $\delta=-29^{\circ} 00'$).

Latitud galáctica (b):

Se mide a partir del plano galáctico de 0 a $\pm 90^{\circ}$.

El movimiento del Sol con respecto a las estrellas vecinas



Aunque las estrellas se mueven alrededor del centro galáctico en forma más o menos armoniosa, completando una vuelta en unos 250 millones de años, hay una componente de velocidad aleatoria. Aquí se muestran en el *sistema local* (centrado en el Sol).

Consideramos N estrellas en la vecindad del Sol. La suma de todas sus velocidades relativas al Sol será:

$$\vec{v}_{suma} = \sum_{i=1}^N \vec{v}_i$$

donde $\vec{v}_i$ es la velocidad de la estrella i con respecto al Sol, donde $i = 1, \dots, N$.

El Sol tendrá una velocidad con respecto a estas estrellas:

$$\vec{v}_{apex} = -\vec{v}_{suma}$$

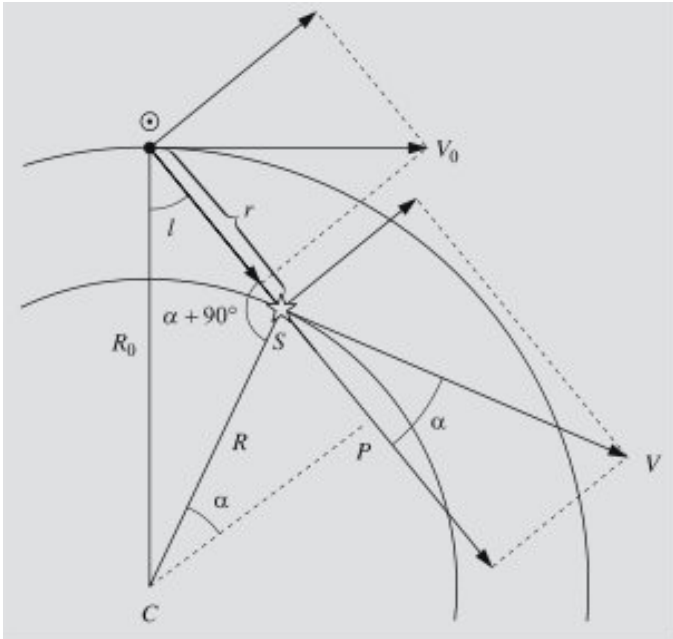
y parecerá dirigirse hacia un punto del cielo denominado *apex* cuyas coordenadas galácticas son:

$$l = 56^\circ, b = +23^\circ$$

Poblaciones de la Vía Láctea

Población	Objetos típicos	Edad promedio (10^9 años)	z (pc)	v_z (km/s)	Abundancia de metales
Halo II	Subenanas, Cúmulos globulares, RR Lira	12-14	2000	75	0,001
Intermedia II	Variables de largo período	10-12	700	25	0,005
Disco	Nebulosas planetarias, Novas, Gigantes rojas	2-12	400	18	0,01-0,02
Vieja I	Estrellas A, Cefeidas	0,1-2	160	10	0,02
Joven I	Gas, polvo, Supergigantes, Estrellas T Tauri	0,1	120	8	0,03-0,04

Rotación de la Vía Láctea



Observaciones de los movimientos de estrellas y de materia interestelar han confirmado que la galaxia tiene un movimiento de rotación alrededor del centro galáctico y que la velocidad decrece con el radio r . Supongamos que las estrellas se mueven en órbitas circulares alrededor del centro galáctico. Podemos medir las componentes radial v_r y transversa v_t de la estrella S con respecto al Sol.

$$v_r = V \cos \alpha - V_o \sin l$$

donde V y V_o son las velocidades de rotación galáctica de la estrella y el Sol respectivamente, l es la longitud galáctica de la estrella, y α es el ángulo entre $\vec{V}$ y la visual a la estrella S.

La componente tangencial es: $v_t = V \sin \alpha - V_o \cos l$.

Materia interestelar

El medio interestelar contiene gas y polvo en forma de nubes individuales o un medio difuso. Valores típicos para el espacio interestelar son: 1 átomo / cm^3 y 100 partículas de polvo / km^3 .

* $\sim 10\%$ de la masa (visible) de la galaxia es gas interestelar. Las partículas de polvo constituyen apenas $\sim 1\%$ (por masa) del gas.

Antecedentes

Robert Trumpler (1930) descubrió la existencia de polvo interestelar al observar varios cúmulos galácticos. Siendo los cúmulos de similares características, era esperable que las magnitudes absolutas M de sus estrellas más brillantes fueran también similares. Midiendo las magnitudes aparentes m de las estrellas más brillantes, se podrían determinar sus módulos de distancias:

$$m - M = 5 \log \left(\frac{r}{10pc} \right)$$

Siendo r la distancia a la estrella más brillante y por ende del cúmulo en cuestión. Si el diámetro aparente del cúmulo es d , el diámetro verdadero D será:

$$D = d \times r$$

Le llamó la atención a Trumpler de que el diámetro parecía crecer con la distancia r , lo cual no parecía razonable. La explicación alternativa que encontró fue agregar un término en la ecuación del módulo de distancia dependiente de r : $A = A(r) > 0$ tal que:

$$m - M = 5 \log \left(\frac{r}{10pc} \right) + A$$

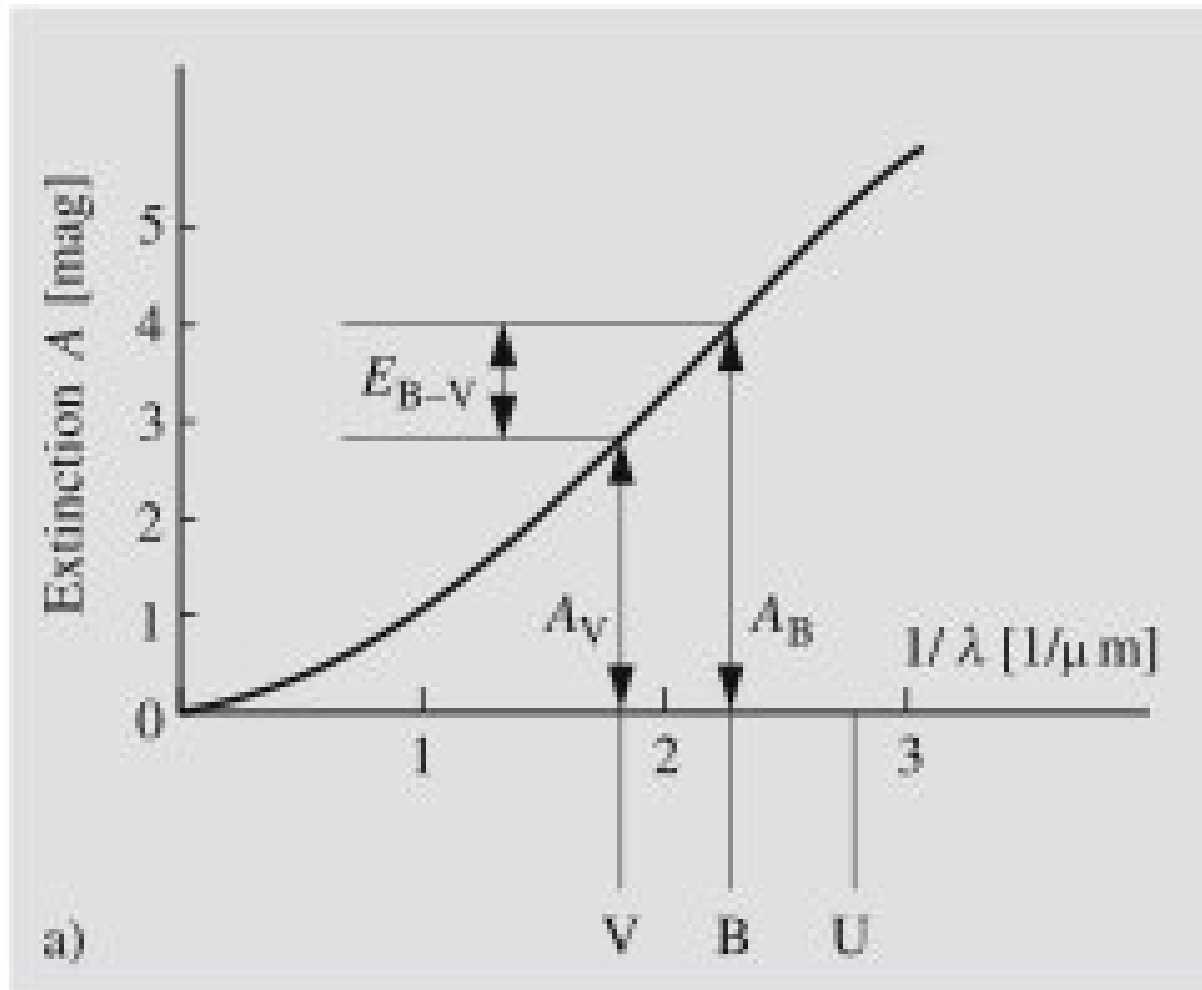
donde $A = ar$, siendo a una constante.

El término A se identifica físicamente con la *extinción* de la luz debido a que las partículas de polvo presentes en el medio interestelar absorben y difunden la luz que atraviesa el medio.

Por lo tanto, las estrellas no sólo se veían más débiles por estar más lejos, sino también porque su luz sufría más extinción.

Dependencia de la extinción de la longitud de onda

* En realidad el coeficiente a depende de λ : es mayor en el azul que en el rojo



La consecuencia es que objetos más distantes están más enrojecidos por la mayor extinción. El *enrojecimiento* en el índice de color (B-V) (medido en magnitudes) está dado aproximadamente por:

$$E_{(B-V)} \simeq \frac{A_v}{3}$$

donde A_v es la extinción en magnitudes en el color V.

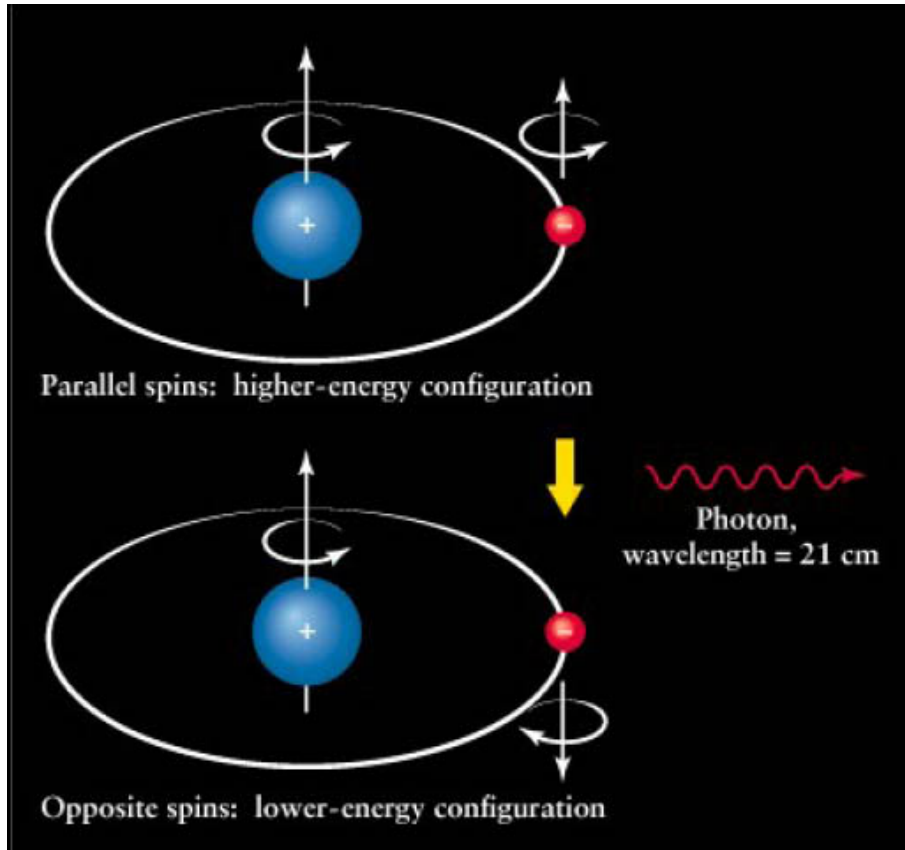
Como el polvo está fuertemente concentrado en el plano galáctico, en un disco de unos 100 pc de espesor. La extinción (en magnitudes) depende de la latitud galáctica b a que se encuentra el objeto de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\Delta m(b) = \frac{\Delta m_o}{\sin b}$$

donde $\Delta m_o \simeq 0,3$ en el visual.

* En el infrarrojo la extinción es aproximadamente el 10% de aquella en el óptico y en ondas de radio es insignificante.

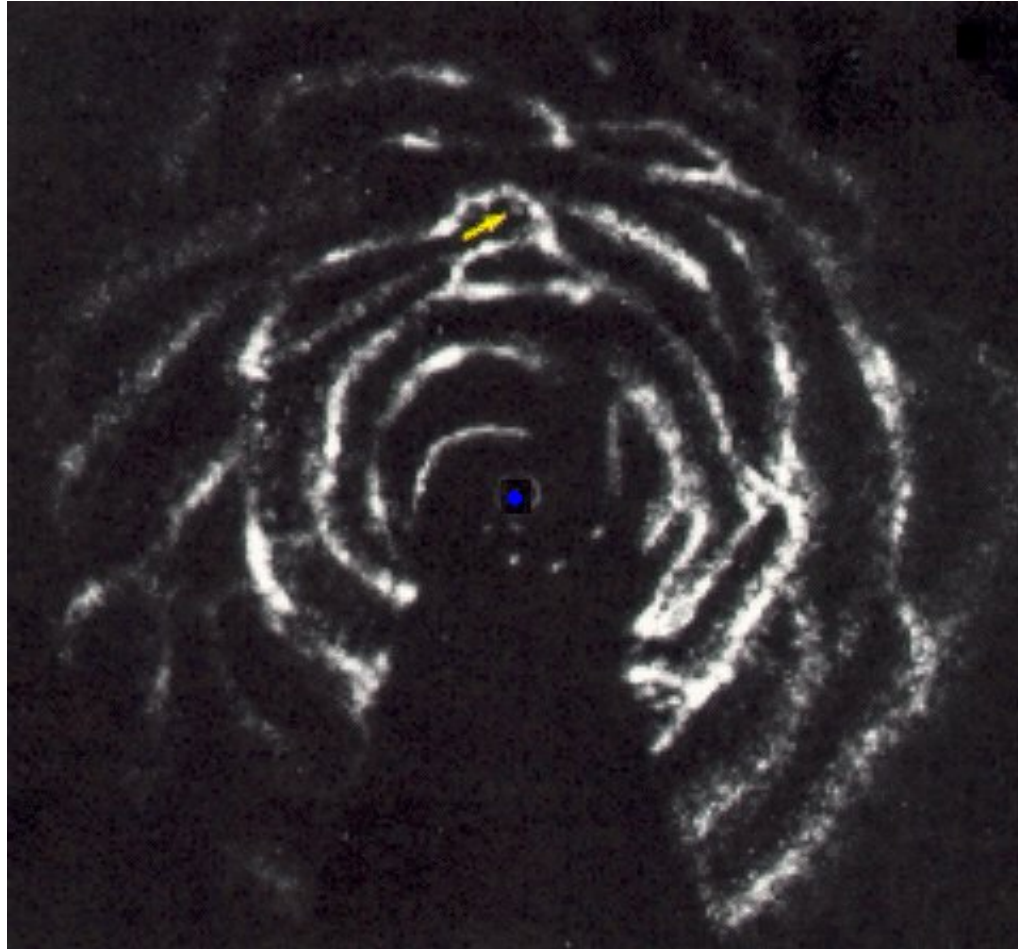
La contribución de la radioastronomía



La radioastronomía ha sido particularmente útil para el estudio de la distribución de materia en la galaxia. La razón es que el elemento más abundante, el hidrógeno, tiene una transición del electrón entre 2 estados de energía en que su *spin* pasa de paralelo a antiparalelo con respecto al *spin* del protón. Esta transición corresponde a una frecuencia de 1420,4 MHz o $\lambda = 21$ cm, justamente en la región de radio del espectro electromagnético.

Se puede explorar tanto la distribución de gas como la velocidad angular ω a varias distancias galactocéntricas R . De aquí podemos obtener la curva de rotación $V = V(R) = \omega R$ (ver próximo tema).

Mapa de la distribución del hidrógeno en la línea de 21 cm



El mapa muestra que la distribución de hidrógeno neutro está concentrada en los brazos espirales. La posición del Sol está indicada por la flecha amarilla, y el centro galáctico por el punto azul. El cono vacío es un artefacto de las observaciones que no permiten discernir la localización del hidrógeno en la dirección del centro galáctico.

Propiedades del material interestelar

* **Polvo:** Los granos interestelares contienen hielo de H_2O , silicatos, y probablemente grafito. De las propiedades ópticas se puede inferir que sus dimensiones típicas son de algunas décimas hasta $1\ \mu\text{m}$ ($10^{-4}\ \text{cm}$). Los granos de polvo se forman en las atmósferas de estrellas de tipos espectrales K y M de donde son expulsados al espacio interestelar. En ese medio absorben y difunden la luz de las estrellas. La energía absorbida es re-radiada en el IR. La temperatura de los granos es de $\sim 10 - 20\ \text{K}$ y la máxima emisión está en el IR ($300\text{-}150\ \mu\text{m}$).

* **Gas interestelar:** La masa de gas en el espacio interestelar es aproximadamente 100 veces mayor que la de polvo. Sin embargo, ya que el gas no causa extinción de la luz, es más difícil de observar. El gas absorbe radiación de estrellas lejanas en ciertas líneas, p. ej. del Na I y Ca II en el visible. En el UV la línea más conspicua es la Lyman-alfa del hidrógeno ($\lambda = 1216\ \text{\AA}$). Muchos átomos en el espacio interestelar están ionizados por la luz UV de las estrellas vecinas y los rayos cósmicos. La línea Lyman-alfa se observó por primera vez en 1967 desde un cohete.

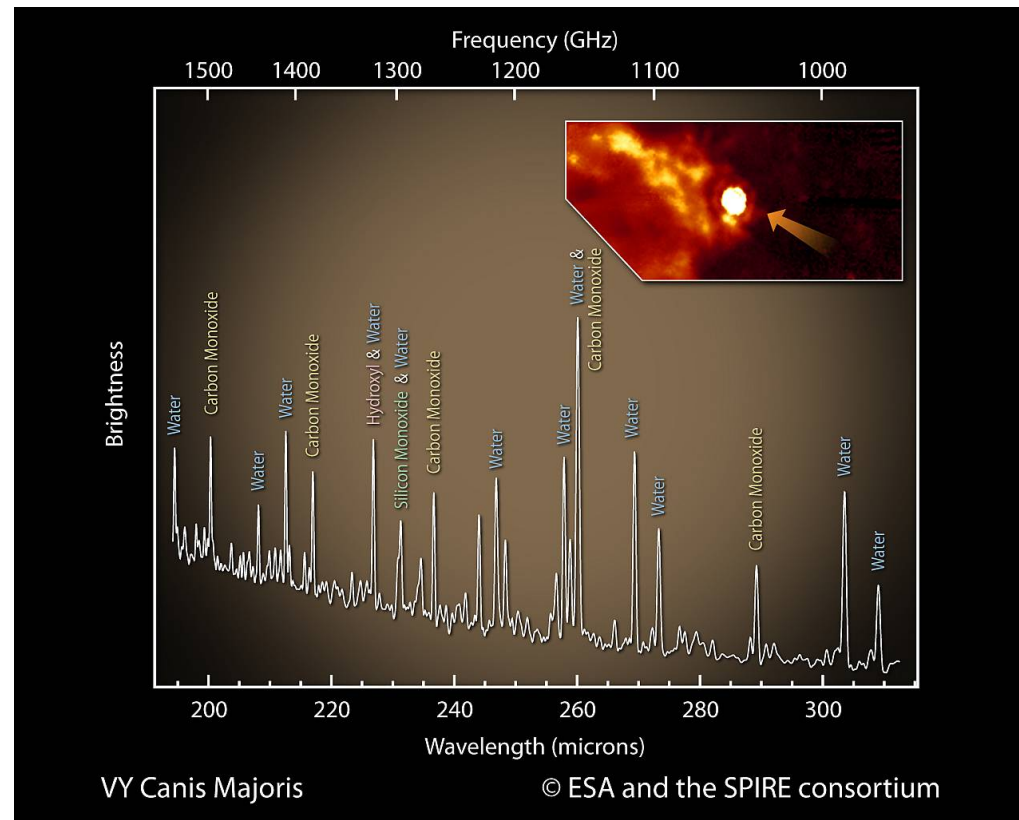
* **Regiones HI:** Son aquellas regiones en que el hidrógeno es predominantemente neutro. La densidad típica de estas nubes es de $1\ \text{átomo} / \text{cm}^3$. Las temperaturas típicas son de $100\ \text{K}$. Igual que el polvo interestelar, el gas está concentrado en un disco fino en el plano galáctico. Su espesor es de unos $200\ \text{pc}$.

* **Regiones HII:** En muchas partes el hidrógeno se ioniza. Esto es particularmente cierto alrededor de estrellas calientes tipo O. El hidrógeno ionizado aparece como nebulosas de emisión que se conocen como *regiones HII*. P. ej. tenemos la nebulosa de Orión. Las líneas de emisión de la serie de Balmer son particularmente fuertes en el visible, en particular la $n = 3 \rightarrow 2$ (correspondiente a la línea H_α a $\lambda = 6563 \text{ \AA}$).

* **Nubes moleculares:** En las nubes interestelares con extinciones por encima de una magnitud el hidrógeno es esencialmente molecular. Allí las temperaturas son muy bajas: $\sim 10 \text{ K}$. El polvo actúa de dos maneras: 1) las moléculas de hidrógeno se forman sobre la superficie de los granos que actúan como un catalizador, y 2) los granos protegen las moléculas de la radiación UV que las destruiría. Además de hidrógeno molecular, las nubes contienen muchas otras moléculas, las primeras descubiertas fueron CH, CN y CH^+ en 1937-38. Varias líneas de emisión moleculares se pueden observar en el UV y en radio.

* **Corona de gas caliente:** Este es un gas muy diluido (densidades de $10^{-3} \text{ átomos/cm}^3$) y altamente ionizado, lo que requiere temperaturas de $10^5 - 10^6 \text{ K}$. Se distribuye por toda la galaxia hasta distancias de varios miles de parsecs del plano galáctico. Este gas debe provenir de explosiones de supernovas y vientos estelares de estrellas calientes.

Reciclado de gas enriquecido en elementos pesados expulsado por estrellas masivas



Espectro de WY Canis Majoris tomada por la cámara IR SPIRE a bordo del observatorio espacial Herschel que muestra el espectro del material de gas y polvo arrojado masivamente al espacio interestelar por esta estrella gigante al final de su ciclo evolutivo (recuadro superior derecho). Como muestra el espectro, el material está muy enriquecido en H_2O , CO , y otras moléculas orgánicas.

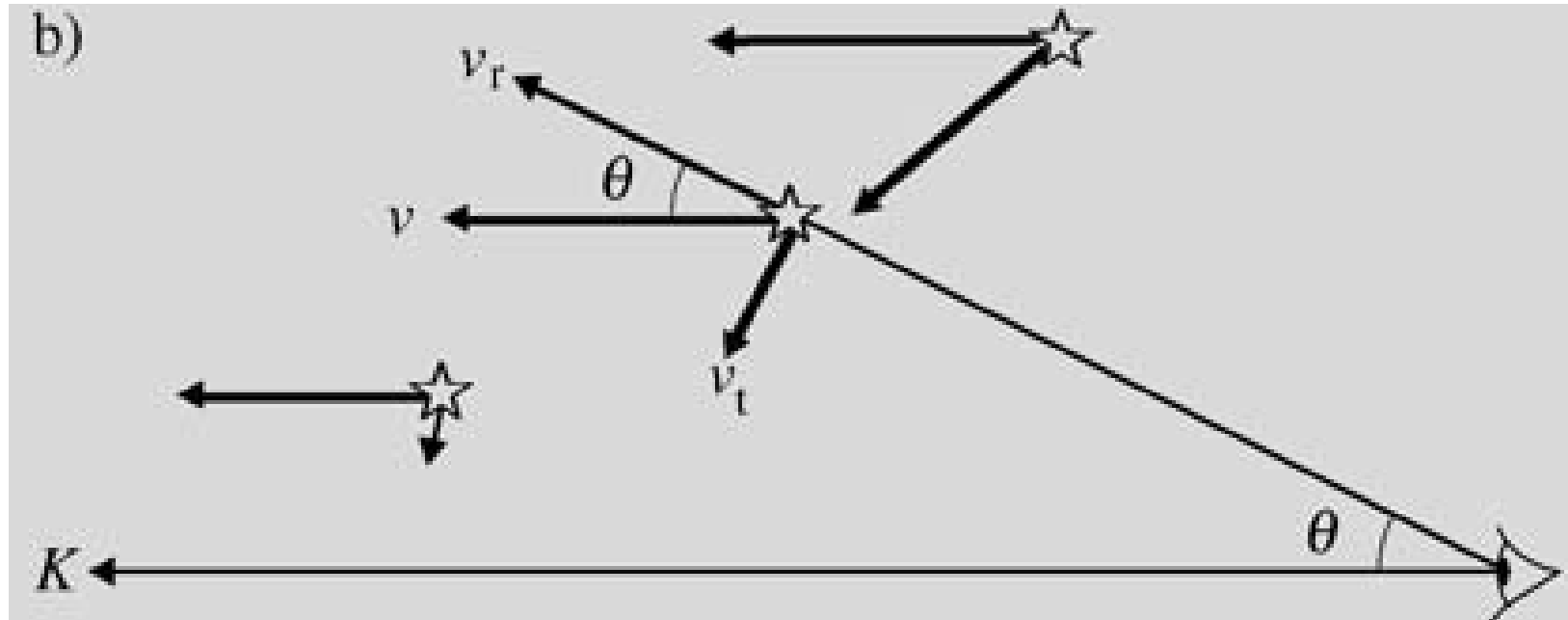
Cúmulos abiertos

Son aglomeraciones de estrellas que van desde algunas decenas hasta algunos cientos o miles. Pueden durar desde algunos millones hasta cientos de millones de años antes de dispersarse. Las agrupaciones de más corta vida se llaman *asociaciones*.



El cúmulo abierto de las Pleyades.

La medida de la distancia a un cúmulo



Si asumimos que todas las estrellas se mueven con la misma velocidad $\vec{v}$ con respecto al observador, las componentes transversales de las velocidades parecerán converger hacia un punto imaginario K.

La distancia a un cúmulo se puede determinar combinando las medidas de su velocidad radial y movimiento propio, y asumiendo que todas las estrellas tienen la misma velocidad $\vec{v}$ con respecto al observador. Consideremos una estrella del cúmulo cuya visual forma un ángulo θ con la dirección al punto de convergencia K. Las componentes radial y transversa de $\vec{v}$ estarán dadas por:

$$v_r = v \cos \theta$$

$$v_t = v \sin \theta$$

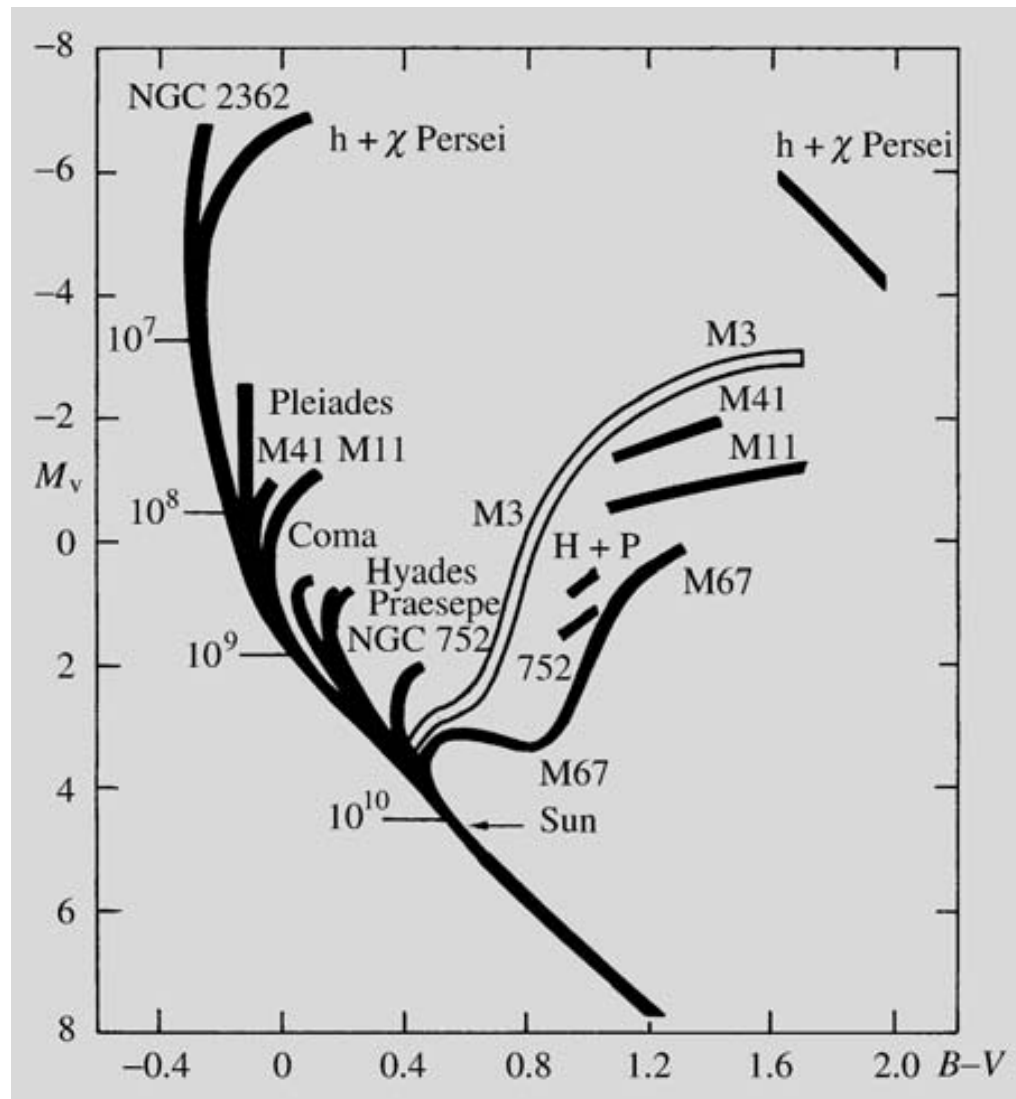
La velocidad radial se puede medir por efecto Doppler en el espectro de la estrella. La velocidad transversa está relacionada al movimiento propio de la estrella μ y a la distancia r por medio de:

$$v_t = \mu r$$

$\Rightarrow$ la distancia se puede calcular a partir de:

$$r = \frac{v_t}{\mu} = \frac{v \sin \theta}{\mu} = \frac{v_r \tan \theta}{\mu}$$

Este método de determinar distancias a estrellas se denomina *paralaje cinemática*.



La edad de un cúmulo se puede estimar observando cuales son las estrellas de tipos espectrales más tempranos que aun permanecen en la Secuencia Principal.

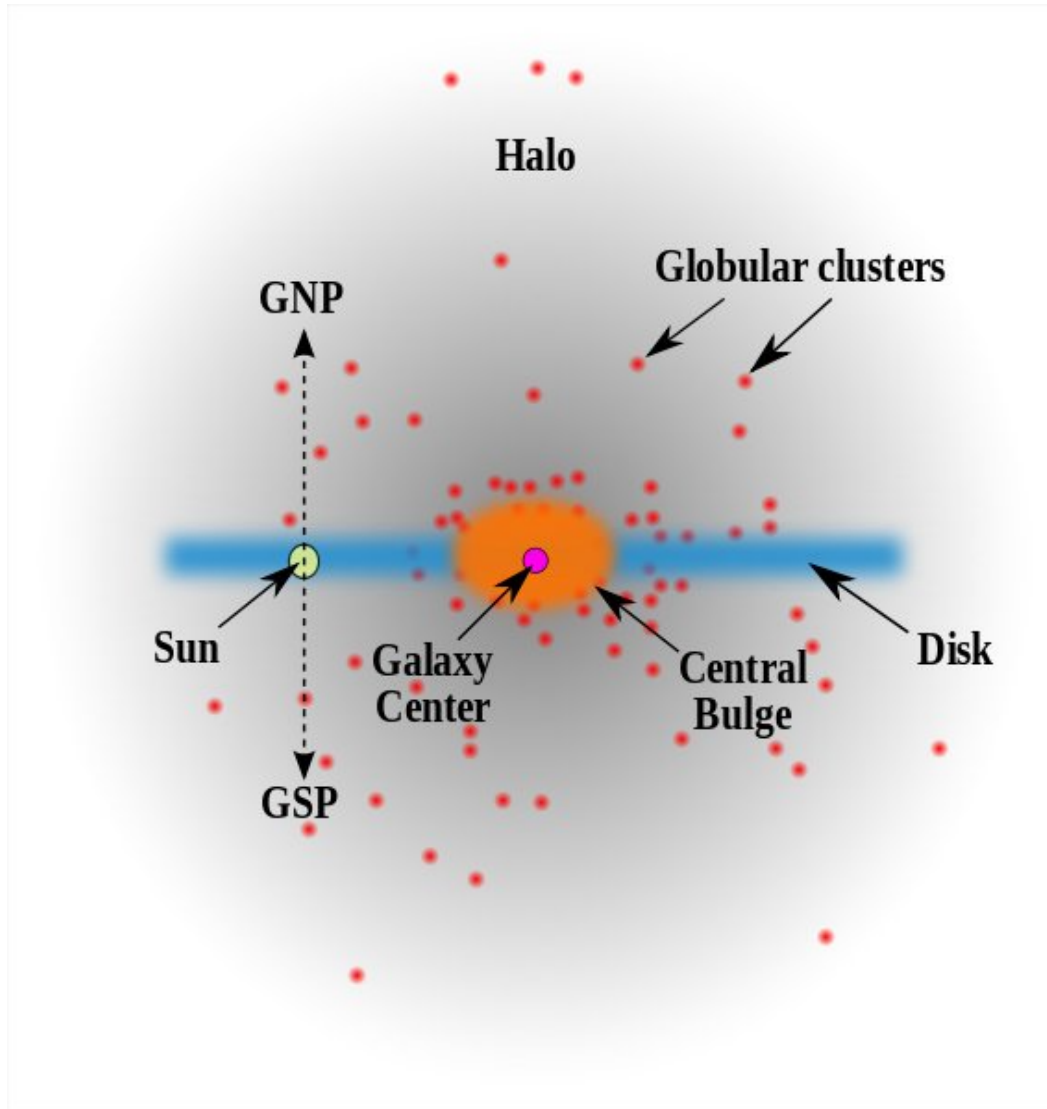
Cúmulos globulares

Son aglomerados de unas 10^5 estrellas con una distribución más o menos esférica. Están entre los objetos más viejos de la Vía Láctea. Hay aprox. unos 150-200 cúmulos globulares en nuestra galaxia.



El cúmulo ω Centauri.

El Sol dentro de la Vía Láctea



El astrónomo norteamericano Harlow Shapley estimó hacia 1917 las distancias de numerosos cúmulos globulares utilizando como faros estándar a las estrellas variables RR Lira contenidas dentro de ellos. Como segundo criterio, aplicado en el caso de que el cúmulo no contuviera estrellas RR Lira, Shapley utilizó a las estrellas más brillantes contenidas en el cúmulo. Llegó a la conclusión de que los cúmulos globulares forman un sistema de estructura esférica (el *halo galáctico*), dentro de la cual el Sol ocupa una posición alejada del centro unos 8,5 kpc.