

Estructura galáctica y dinámica estelar.

Introducción

Las galaxias son las unidades básicas de estructura en el universo debido a que nuestros ojos están sintonizados con las longitudes de onda visibles.

Además, hasta bien entrado el siglo XX no era claro que hubieran galaxias más allá de la Vía Láctea.

Las galaxias se componen de estrellas, gas y polvo. El gas y el polvo componen el medio interestelar.

El Sol es más bien una estrella típica a medio camino hacia el borde de la Vía Láctea, nuestra Galaxia, que es una galaxia típica.

La estructura galáctica se estudia mejor combinando la información muy detallada disponible para la Vía Láctea con la perspectiva global que tenemos de otras galaxias.

Nuestro conocimiento de la estructura galáctica todavía es incompleto. La Astronomía es una ciencia extraña en el sentido de que no podemos tener el control de los experimentos ni podemos cambiar nuestro de observación. Sólo podemos observar los especímenes galácticos que el universo nos presenta y a partir de la información disponible tenemos que tratar de descifrar por qué las galaxias aparecen como lo hacen. Una herramienta importante en este trabajo es el principio cosmológico, que establece que la física es la misma localmente, así como en la escala del universo y que no tenemos ninguna perspectiva preferente.

Nuestro conocimiento de la estructura de la Galaxia ha dependido de la tecnología disponible. Los telescopios más grandes y más eficientes permiten observar estructuras más débiles. Los telescopios y los detectores trabajando en longitudes de onda diferentes de las del óptico permiten estudiar eficientemente diferentes componentes de las galaxias. El procesamiento de datos es fundamental para extraer de las observaciones la máxima información posible.

Historia

La Vía Láctea es visible como una banda difusa de luz a lo largo del cielo (en noches sin luna y lejos de la luz de las ciudades). La conocían bien los griegos y su nombre moderno se debe a los romanos. (Aunque se dice que Galaxia viene de 'camino de leche' en griego).

Fue hasta 1610 cuando Galileo descubrió que esta difusa banda de luz estaba compuesta de estrellas individuales.



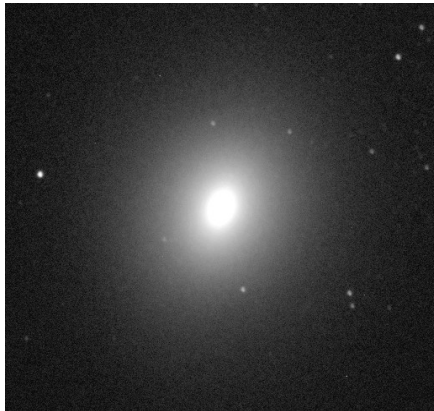
A mediados del siglo XVIII, Kant descubrió que la estructura plana del sistema solar se produjo como resultado de la atracción de la gravedad. De igual manera sugirió que, si la Vía Láctea rota como un disco, su forma aplanada se debe al mismo efecto. Desde nuestra ubicación cercana al plano central del disco galáctico, esta estructura física explica nuestra visión de la Vía Láctea.

Debido a que no percibimos movimientos apreciables de las estrellas individuales, Kant razonó que la Vía Láctea debe ser mucho mayor que la escala del sistema solar. Kant también sugirió que algunas de las nebulosas débiles conocidas en ese tiempo eran *universos islas* similares a la Vía Láctea.

Durante la última mitad del siglo XVIII y la primera de del XIX, el mejoramiento de los telescopios permitieron la creación de grandes catálogos de nebulosas y permitieron a los Herschel resolver algunas de estas nebulosas (cúmulos estelares) en estrellas individuales. Esto sugirió que la sospecha de Kant de los universos islas era correcta.

Además, los Herschel argumentaban que habían dos tipos de nebulosas, las que estaban compuestas de estrellas (cúmulos estelares y galaxias) y los que estaban compuestas de gas (regiones HII, nebulosas de reflexión, nebulosas planetarias).

William Parsons, Lord Rosse, usó su telescopio de 72 pulgadas para descubrir que muchas de las nebulosas no gaseosas caían en dos clases: algunas eran distribuciones de luz completamente elípticas sin ningún rasgo, mientras que otras eran menos simétricas a menudo con una estructura espiral.



Parsons también pudo resolver fuentes individuales en algunas de las nebulosas espirales, apoyando a la conjetura de Kant de que se trataba de universos islas similares a la Vía Láctea.

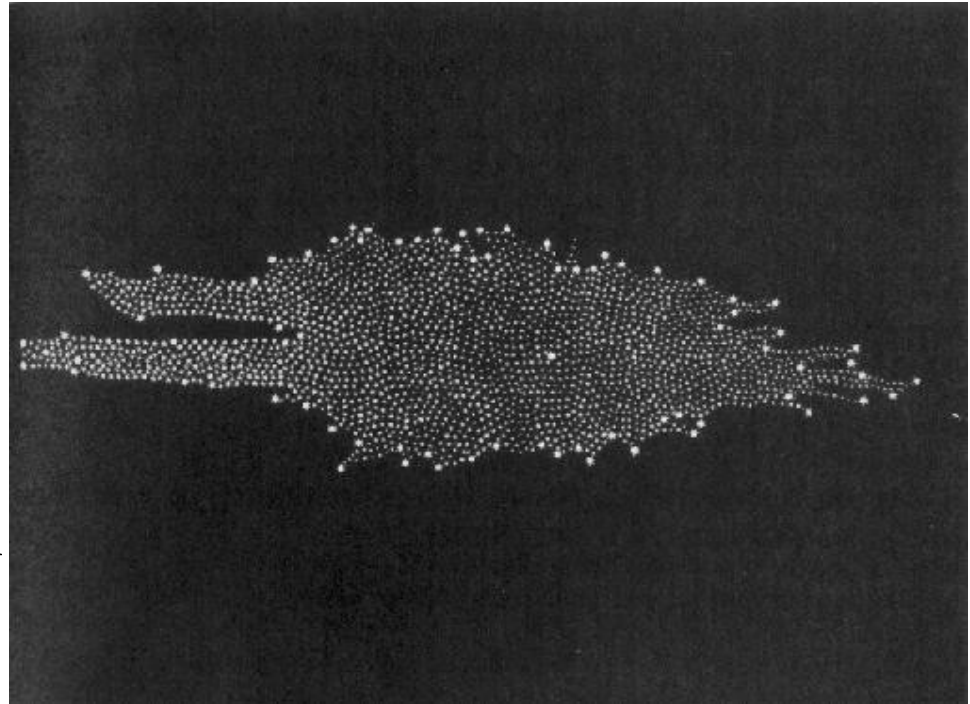


Al final del siglo XIX, el uso de la placa fotográfica permitió resolver dramáticamente muchas nebulosas en fuentes individuales.

Aunque considerablemente diferente en el nivel de detalle, Herschel (1785) y Kapteyn et al. (1920) hicieron conteos de estrellas en diferentes direcciones para determinar la estructura de la Vía Láctea.

Ambos encontraron que la Vía Láctea era un esferoide aplanado cuya extensión era cerca de cinco veces más grande en el plano de la galaxia que en la dirección perpendicular.

Kapteyn et al. también usaron movimientos propios para estimar las distancias a estrellas de un brillo dado e inferir así un tamaño físico de la Vía Láctea.



Encontraron que el número de estrellas caía al 1% de su valor central a un radio de 8.5 kpc. Herschel encontró que el Sol estaba en el centro de la Vía Láctea, pero el análisis de Kapteyn mostró que el Sol estaba localizado ligeramente fuera del plano central y a unos 650 pc del centro.

Kapteyn estaba consciente de que la posible presencia del efecto de extinción en un medio interestelar, cuya evidencia eran las franjas oscuras en la Vía Láctea, podrían invalidar su modelo, pero sus intentos por buscar enrojecimiento de estrellas débiles (suponiendo que la dispersión de Rayleigh producida por los átomos era el efecto dominante) encontró sólo pequeñas cantidades de enrojecimiento, de lo que dedujo que la extinción era mínima.

En realidad, la extinción por polvo es un efecto mucho más importante que la dispersión de Rayleigh y produce mucho menos enrojecimiento. Trumpler (1930) descubrió esto después estudiando algunos cúmulos estelares abiertos. La extinción que encontró fue suficiente para invalidar el modelo de Kapteyn.

Basado en sus estudios de cúmulos globulares, Shapley (1918-1919) propuso un modelo mucho más parecido a la estructura verdadera de la Vía Láctea. La distribución de cúmulos globulares indicaban que el Sol estaba lejos del centro, que estaba ubicado a 15 kpc en la dirección de Sagitario, y que el tamaño total de la Vía Láctea era cercano a 100 kpc, mucho mayor que lo que establecía el modelo de Kapteyn.



Shapley y Curtis, en 1920, durante el Gran Debate, presentaron sus puntos de vista acerca del tema de los *universos islas* similares a la Vía Láctea. Ambos presentaron puntos válidos, pero aparentemente Shapley ganó, gracias a unos datos erróneos de Maanen acerca de la rotación de las nebulosas espirales. Básicamente, su ignorancia acerca de la existencia de la extinción interestelar evitó que interpretaran correctamente muchos de los datos a su disposición.

En 1923, Hubble había observado algunas variables Cefeidas en M31 y concluyó que la distancia a esa galaxia era de 300 kpc, distancia mayor que el tamaño de la Vía Láctea en el modelo de Shapley.

Modelos cinemáticos de la Vía Láctea

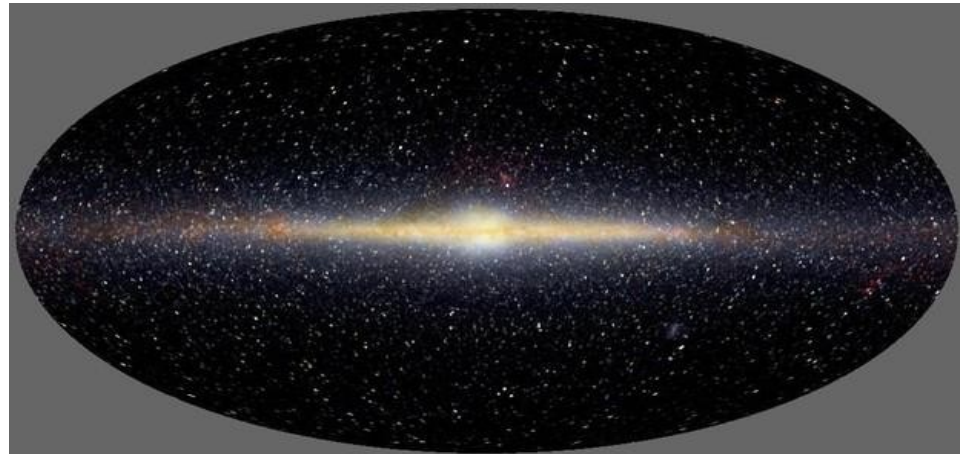
Aún antes de que se estableciera la existencia de la extinción interestelar, Lindblad demostró la invalidez del modelo de Kapteyn basado en la dinámica de los cúmulos globulares. Lindblad encontró que el modelo de Kapteyn no era suficientemente masivo para ligar permanentemente los cúmulos globulares, ni era suficientemente masivo para permitir que se formaran de manera continua, suponiendo que no estaban ligados. Ambos argumentos sugerían que se necesitaba un modelo más masivo que el de Shapley.

Lindblad también explicó la estructura de diferentes componentes de la Vía lacta como resultado de sus movimientos. Argumentó que los cúmulos globulares tenían un movimiento rotacional muy pequeño y formaban un sistema suportado por presión, basado en la evidencia de que formaban un sistema casi esférico. En contraste, observando las pequeñas velocidades de las estrellas cercanas al Sol, concluyó que deberían estar en órbitas casi circulares y que el disco galáctico debería estar aplanado.

Analizando las velocidades radiales de los cúmulos globulares demostró que el Sol y las estrellas cercanas rotan alrededor de la Vía Láctea a velocidades de 200-300 km/s.

El desarrollo de la radio astronomía, y los estudios en la línea espectral de 21 cm del hidrógeno neutro en particular, dieron los medios para estudiar la estructura del disco Galáctico. Oort, Kerr y Westerhout, en 1958, mostraron que era un disco delgado, pero no uniforme ni plano. Hay más gas en la parte más alejada del centro y el disco muestra un alabeo en ambos lados. Se ha encontrado que el gas está concentrado en brazos espirales y para complicar el esquema se descubrieron movimientos no circulares en una potencial gravitacional no axisimétrico que podría interpretarse como evidencia de la existencia de un disco galáctico.

En otras galaxias se observaron posteriormente movimientos similares indicando que no eran algo exclusivo de la Vía Láctea.



La cinemática del gas puede usarse para predecir la distribución de masa de la Vía Láctea o de otras galaxias. En la década de 1970 se demostró que la masa predicha era superior a la masa disponible en las componentes observables de estrellas y gas.

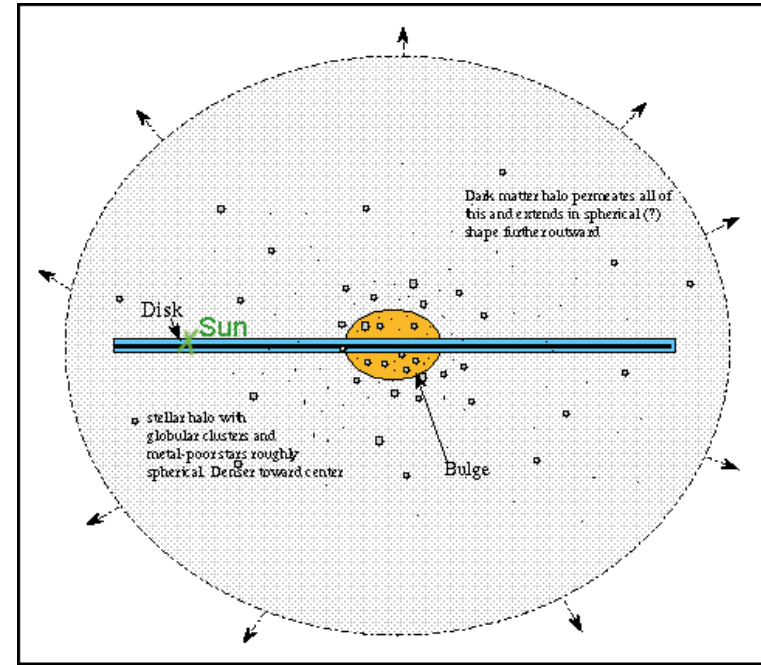
$$\frac{GM(R)m}{R^2} = \frac{mV^2(R)}{R}$$

$$M(R) = \frac{RV^2(R)}{G}$$

Además, se encontró que el déficit de masa aumentaba con el radio. Esa masa faltante en la materia observable dio origen a la idea de materia oscura.

Poblaciones estelares

Lindblad y Oort introdujeron la idea de poblaciones estelares cinemáticamente distintas, cuyos movimientos dentro de la Vía Láctea era muy diferente. Baade demostró en 1944 que las luminosidades y los colores medidos en las estrellas en galaxias elípticas y en los bulbos en las galaxias espirales eran diferentes de los que se medían en las estrellas que están en los brazos de las galaxias espirales. A las estrellas de las elípticas y de los bulbos de las galaxias espirales se les llamo Población II y a las de los brazos de las espirales se les llamo Población I.



El desarrollo de la teoría de la estructura estelar mostró eventualmente que la posición de una estrella en el diagrama HR era el resultado de la estructura de la estrella y de la tasa de generación de energía. Y eso hizo posible explicar los diagramas HR de los cúmulos globulares (población II) como resultado de su edad. De la misma manera, los diagramas HR de los cúmulos abiertos (población I) se podían explicar como resultado de haberse formado más recientemente.

La espectroscopía había permitido la derivación de las composiciones químicas de las estrellas en los cúmulos globulares y abiertos, encontrando que los cúmulos abiertos son más ricos en metales. Y es que es entendible si suponemos que las estrellas de los cúmulos abiertos se formaron más tarde que las de los cúmulos globulares, dando más tiempo para un medio más rico en metales obtenidos de más generaciones de supernovas.

Una explicación natural de estos hechos es que los cúmulos globulares de la Vía Láctea y las estrellas de alta velocidad del halo se formaron primero, formándose más tarde las del disco. De hecho, todavía hay estrellas formándose en el disco.

Incluso las estrellas más pobres en metales de la Población II tienen algunas trazas de contenido metálico, lo que sugiere que pudo haber existido una generación anterior de estrellas (Población III?). Sin embargo, todavía no se encuentran estrellas de Población III libres de metales.