

2.09. La Naturaleza de las Nebulosas Espirales:

2.09.1 Introducción:

Mediante telescopios de gran tamaño se puede detectar la presencia de muchos millones de nebulosas espirales. Sin embargo, la espiral más cercana, en la constelación de Andrómeda, es un objeto visible a simple vista. Es así como aparece señalada en el mapa que en el año 964 realizara el astrónomo persa Abd-al-Rahman al Sufi. Posteriormente la nebulosa de Andrómeda aparece indicada en una carta celeste holandesa, dibujada hacia el año de 1500. A pesar de eso, la mayoría de los libros de historia atribuyen la primera observación en Europa de la nebulosa de Andrómeda a Simon Marius (o Mayer) de Genzenhausen, en 1612, quien la describe como *"una vela que brilla a través de un cuerno"*.

La primera observación registrada de la nebulosa de Orión es accidental. Cysat, jesuita, profesor de matemáticas en Ingolstadt, observó el cometa de diciembre de 1618, comparándolo con la nebulosa de Orión, sin darse cuenta que la nebulosa nunca había sido descrita anteriormente. Un observador más famoso de la nebulosa de Orión fue Christiaan Huygens quien la describió en 1656, proporcionando además los primeros dibujos de la nebulosa.

Estas primeras observaciones no motivaron ninguna interpretación teórica. El primer gran avance acerca de la naturaleza de las nebulosas provino principalmente de especulaciones teóricas sin gran base observacional. Entre ellas las más notables son las especulaciones del sueco **Swendenborg** en 1734, el inglés **Wright** en 1750, el alemán **Kant** en 1755 y el alemán **Lambert** en 1761. Estas ya fueron reseñadas anteriormente (2.08). Todas las especulaciones teóricas sugirieron en un principio la naturaleza estelar de las nebulosas: las nebulosas serían sistemas tipo Vía Láctea, universos-islas en el lenguaje de Kant.

2.09.2 Primeras observaciones: Herschel y Lord Rosse.

Los primeros pasos seguros en el tema de las nebulosas se los debemos a **William Herschel**. Junto con su famoso modelo de la Vía Láctea que ya hemos discutido, Herschel descubrió un gran número de nebulosas, gracias a sus poderosos telescopios. En 1784 nos cuenta que, al recibir en 1781 la lista de nebulosas que acababa de publicar Charles Messier en Francia, que contiene información acerca de 103 objetos nebulosos en el cielo, Herschel fue capaz de resolver en estrellas un gran número de objetos declarados nebulosas por Messier. Diecisiete años antes, John Michell, compatriota de Herschel que es hoy recordado por sus argumentos estadísticos sobre estrellas dobles, había sugerido que probablemente todas las nebulosas fueran de carácter estelar y que su apariencia nebulosa se debía a su distancia y/o a la falta de

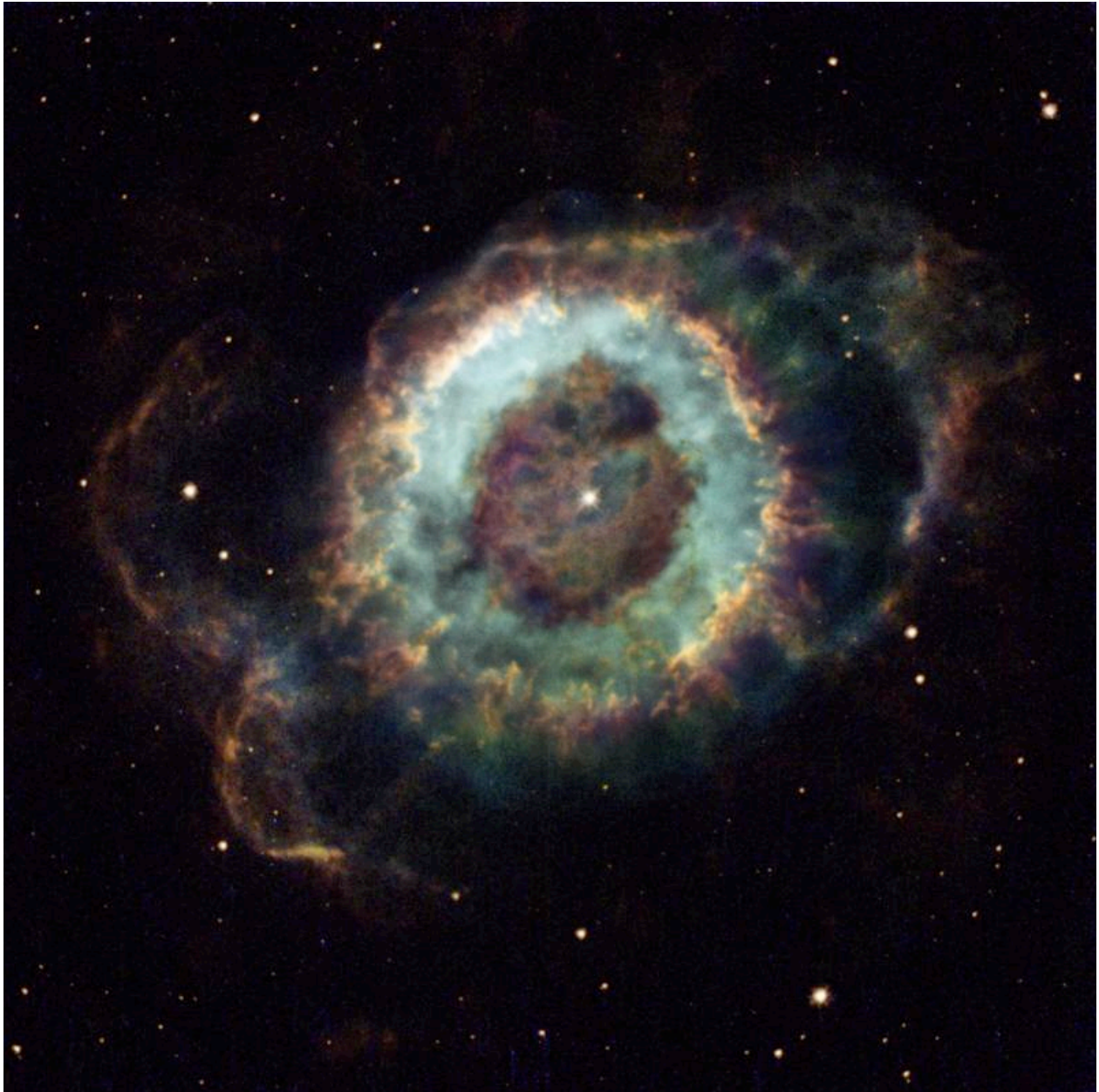
poder de resolución de los telescopios empleados. Las primeras observaciones de William Herschel de los objetos de Messier parecían confirmar esa sugerencia de Michell, lo que llevó a Herschel a adoptar la idea que todas las nebulosas, sin excepción, deben consistir de estrellas. La gran autoridad científica de Herschel, sumada a las especulaciones filosóficas de Kant y otros, hizo de la teoría de los universos-islas una creencia muy aceptada hacia fines del siglo XVIII.



Messier 51: Nebulosa con una clara estructura espiral, descubierta por Lord Rosse.

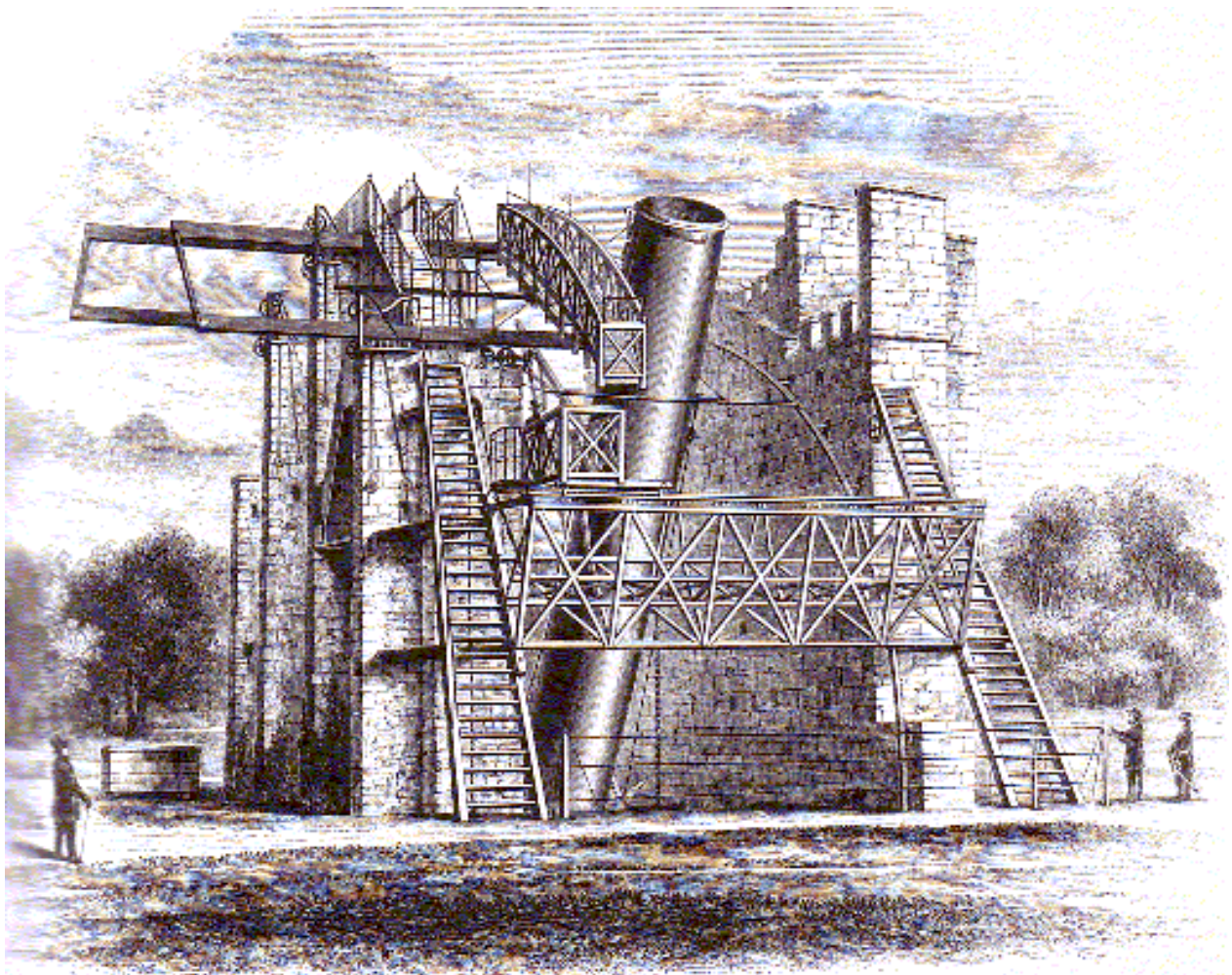
Sin embargo, el propio Herschel habría de cambiar de opinión. En 1790 descubrió una nebulosa planetaria (NGC 1514) que posee una estrella central tan obvia y prominente y tan bien centrada con respecto a la nebulosa, que su asociación con ella era indudable. Esto convenció a Herschel que materia nebulosa existía, por lo cual ya no era necesario pensar que todas las nebulosas debían ser resolubles en estrellas. En 1802, basado en supuestos cambios que según Herschel habría experimentado, sostiene que es inadmisible suponer a la nebulosa de Orión como un conjunto de estrellas distantes. Por tanto, hacia finales de su vida William Herschel estaba desconcertado; en 1820 sostiene ante la recientemente formada Royal Astronomical Society: *"más allá de los límites de nuestro propio sistema sin embargo, todo es oscuridad en el presente"*.

Al comenzar el siglo XIX, con la creciente popularidad de la hipótesis nebular de Laplace para explicar la formación del sistema solar y con el cambio de posición experimentado por Herschel, la teoría de universos-islas vio declinar sustancialmente su popularidad. Todas las nebulosas serían sistemas planetarios en formación en distintas etapas del proceso; las nebulosas más simétricas serían un ejemplo del torbellino que va a llevar a la formación de una estrella y a su alrededor un sistema de planetas. El inglés Airy en 1836 plantea como un hecho indudable la naturaleza nebulosa de las nebulosas de Orión y Andrómeda.



Nebulosa Planetaria NGC 6369. Se aprecia claramente una estrella en su centro. La nebulosa que rodea a la estrella es gas que ha sido eyectado por la estrella en su fase tardía de evolución.

En 1840 por tanto la teoría de los universos-islas contaba con muy pocos adeptos. Sin embargo con un avance tecnológico importante, por primera vez en Irlanda **William Parsons, tercer conde de Rosse** (1800-1867), con un grupo de colaboradores fueron capaces de fundir un espejo metálico de 72 pulgadas de diámetro (183 cm) que superaba ampliamente el telescopio de 12 pulgadas (30 cm) de Herschel, incluso el mayor de Herschel de 40 pulgadas (102 cm.). Con este nuevo telescopio, construido en el Castillo Birr en Irlanda, en 1845, el **Dr. Nichol** informó de la estructura espiral de la nebulosa Messier 51 (M51). Como **Sir John Herschel** había sugerido, en base a sus propias observaciones, que M51 era con toda seguridad análoga a la Vía Láctea, eso inmediatamente dio la idea que probablemente las nebulosas espirales fueran galaxias y, a su vez, que la Vía Láctea tuviese estructura espiral. Así, a mediados del siglo XIX la teoría de los universos-islas había sido "resucitada" por las observaciones del telescopio de Lord Rosse.

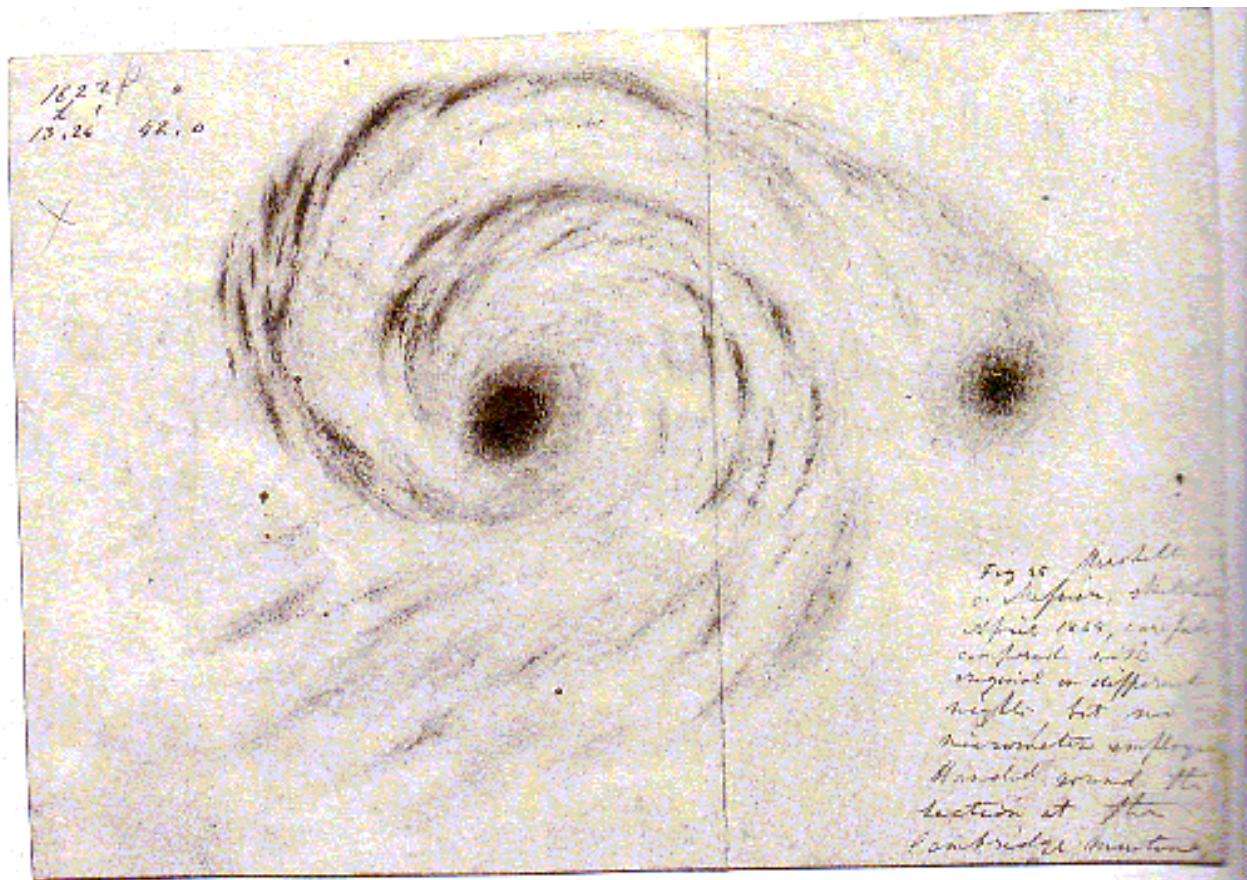


Telescopio de 6 pies de diámetro (1,83 m.) de Lord Rosse. El telescopio sólo se mueve en el meridiano, cambiando su altura. Por ello los objetos sólo se observan por unos minutos mientras transitan.

El entusiasmo de los observadores que utilizaban el telescopio de Lord Rosse, los llevo en varios casos a declarar haber resuelto en estrellas objetos como Messier 1 (la Nebulosa del Cangrejo, remanente de la supernova del año 1054) y ver estructura espiral en cúmulos globulares, como Messier 99, hechos que son imposibles. Estas observaciones espurias, al ser desmentidas por observaciones posteriores fueron sembrando la duda acerca de la resolubilidad de todas las nebulosas.

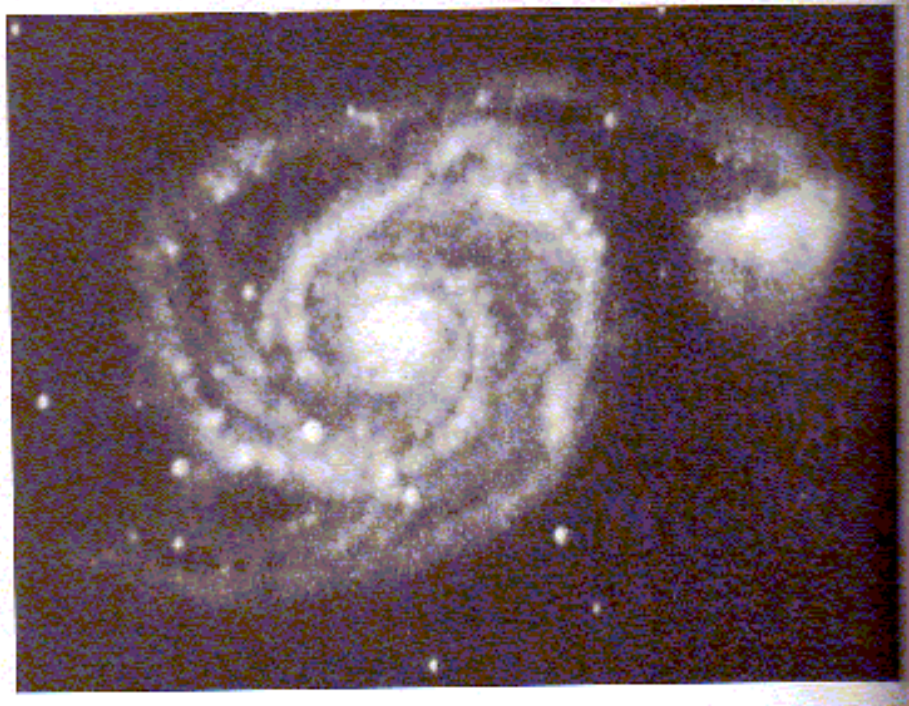
El trabajo de Sir John Herschel describiendo las nubes de Magallanes trajo de nuevo el argumento de su padre, acerca de la coexistencia de nebulosas intrínsecas y nebulosas estelares. Cabe recordar que John observó las Nubes de Magallanes cuando visitó Sud-Africa portando uno de los telescopios de su padre.

Con los trabajos buscando nebulosas que se habían realizado en el siglo XVIII y comienzos del S. XIX, empezó a hacerse evidente que la distribución de las nebulosas no era homogénea sobre el cielo. En 1802 William Herschel había catalogado 2.500 nebulosas. Medio siglo más tarde, su hijo John había elevado el número a alrededor de 5.000 objetos en su **"General Catalogue"** publicado en 1864; los objetos del sur los observó John desde Sud-Africa. Posteriormente el astrónomo **J.L.E. Dreyer** amplió el catálogo de Herschel, publicando en 1888 el **"New General Catalogue"** fuente de los actuales números **NGC**, que contiene 7.840 objetos; Dreyer publicó nebulosas adicionales en los **Index Catalogues (IC)** agregando 1.529 objetos. El catálogo NGC contiene un buen número de objetos australes gracias al trabajo de John Herschel pero los trabajos de Williams y otros en el norte habían sido mucho más cuidadosos y hechos durante mucho tiempo, por lo cual el NGC es más completo en el norte que en el sur. El catálogo contiene no tan sólo nebulosas del tipo que hoy llamamos galaxias sino también contiene objetos como nebulosas planetarias, cúmulos globulares y nebulosas gaseosas.



Above: Rosse's drawing of M 51, the first occasion on which a spiral form was recognized in a nebula. The drawing was made in April 1845, and circulated at the June meeting of the British Association for the Advancement of Science. John Herschel declared the building of the great reflector to be 'an achievement of such magnitude...that I want words to express my admiration of it.'

Right: Unlike Herschel's own primitive sketch of M 51 (see page 250), the Rosse drawing stands comparison with this modern photograph.



William Herschel había comentado que las nebulosas tienden a encontrarse en regiones con pocas estrellas. Sin embargo, fueron los filósofos ingleses **William Whewell**, en 1853, y especialmente **Herbert Spencer**, en 1858, quienes llamaron la atención sobre este hecho: las nebulosas se sitúan preferencialmente hacia los polos galácticos y evitan la zona del ecuador galáctico, donde las estrellas presentan su máxima densidad. Esto apareció como una prueba indesmentible de la asociación de las nebulosas y la Vía Láctea.

2.09.3 Huggins, Fath, Slipher y van Maanen:

Las primeras observaciones espectroscópicas de nebulosas, hechas por **Sir William Huggins** en 1864, arrojaron nuevas evidencias sobre el debate. Varias de ellas, como la nebulosa de Orión indicaban claramente que se trataba de nebulosas gaseosas. Por otra parte, nebulosas como M31 (la nebulosa de Andrómeda), tenían un espectro continuo, como se espera de un conglomerado de estrellas. Desgraciadamente en lugar de aceptar la existencia de dos tipos distintos de nebulosas que no podían ser resueltas, la cosa se forzó una vez más para ahora pensar que todas las nebulosas eran nebulosas gaseosas y que la falta de líneas en emisión en algunas de ellas, como la de Andrómeda (M31), se debía a propiedades excepcionales del gas que producía un espectro continuo en lugar de discreto. Así, hacia fines del siglo XIX, la mayoría de los astrónomos parecía favorecer la idea de que las nebulosas espirales no eran universos-islas sino estrellas (y sistemas planetarios) en formación.

Al terminar el siglo XIX se inician en el observatorio de Lick en EE.UU. una serie de observaciones fotográficas con el reflector Crossley de 36 pulgadas. En ese momento el reflector Crossley, con sus 91 centímetros de diámetro, era uno de los más grandes del mundo en operación, con un área recolectora de luz muy superior a los refractores, que en general no superaban las 24 pulgadas (61 cm.). **Keeler** estimó en 120.000 el número de nebulosas accesibles al telescopio Crossley.

En 1899 **Scheiner** finalmente obtuvo un espectrograma de M31 con 7,5 horas de exposición. El escribe *"Una comparación de este espectro con el espectro solar obtenido con el mismo instrumento revela un acuerdo sorprendente entre los dos..."* Scheiner continua *"Quisiera llamar la atención de los astrónomos en esta ocasión a otros puntos. La nebulosa de Andrómeda pertenece a la clase de nebulosas espirales que producen un espectro continuo. Ya que la sospecha previa de que las nebulosas espirales son cúmulos estelares ha alcanzado ahora el nivel de certeza, es natural comparar estos sistemas con nuestro sistema estelar, con especial referencia a su gran similitud con la nebulosa de Andrómeda"*.

Fath, utilizando el reflector Crossley del Observatorio de Lick, empezó a acumular observaciones espectroscópicas de nebulosas espirales y de cúmulos globulares, entre 1908 a 1913. Sus resultados apoyaban los anteriores de Scheiner pero desgraciadamente obtuvo algunos casos contradictorios. Entre ellos obtuvo un espectro de NGC 1068, galaxia espiral que hoy sabemos tiene un núcleo peculiar pues presenta un espectro de líneas de emisión superpuesto al espectro continuo. Esto se

debe a la presencia de gas ionizado en el núcleo de esa galaxia. La observación de Fath mostraba en todo caso la presencia de gas en el núcleo lo que lo llevó a pensar que espirales como NGC 1068 serían objetos de naturaleza intermedia entre las nebulosas gaseosas como Orión y las espirales como M31.

Vesto Slipher (1875-1969), utilizando el refractor de 24 pulgadas de diámetro (61 cm) del Observatorio Lowell, en Arizona, EE.UU., determinó a partir de 1914 las velocidades radiales de algunas nebulosas espirales. Determinó el valor de -300 km/seg para M31. La velocidad deducida del efecto Doppler era sorprendente, la más alta medida. Ese mismo año de 1914 Slipher presentó resultados de varias velocidades radiales de nebulosas espirales donde se mostraba la preponderancia de valores positivos. De 15 velocidades radiales, que llegaban hasta +1.100 km/seg, once mostraban una velocidad de recesión (positiva). Slipher trato de interpretar estos resultados pero sin éxito. Lo que era claro que esos valores tan altos superaban largamente la velocidad de escape de la pequeña Vía Láctea de Kapteyn e incluso la mucho mayor de Shapley.

En un espectrograma de NGC 4594 (El Sombrero) Slipher observó que las líneas espectrales estaban inclinadas, indicando que la nebulosa estaba en rotación. Wolf en 1914 también obtuvo resultados similares para M81, en la Osa Mayor. Pease, en 1916, continuó el trabajo de Slipher en NGC 4594, mostrando que la curva de rotación es lineal en la zona nuclear y llega a una velocidad de 330 km/seg a 2' del núcleo. Pease (1918) obtuvo resultados similares para M31, en Andrómeda.

Al determinarse mediante velocidades radiales la rotación de las nebulosas espirales, era natural buscar la determinación de la tasa angular de rotación, comparando fotografías tomadas en distintas épocas. Lampland creyó detectar rotación en NGC 4594 y luego en M51, que implicaban un periodo de rotación para esta última entre 40.000 a 100.000 años.

Fue indudablemente **Adriaan van Maanen** (1884-1946) en Monte Wilson el astrónomo que trabajó más tiempo en este problema de la rotación de las nebulosas espirales. Primero analizó la rotación de M 101, en 1916, llegando a un periodo de rotación de 85.000 años. También encontró que había un flujo de materia a lo largo de los brazos espirales, hacia afuera del núcleo. Estos resultados espurios de van Maanen tuvieron una fuerte influencia en la discusión acerca de la naturaleza de las nebulosas espirales ya que un período de rotación como el determinado por van Maanen sólo podía entenderse si las nebulosas eran objetos relativamente cercanos y por ende pequeños. El error de van Maanen parece haber estado asociado al material de placas fotográficas que utilizó, pues él era indudablemente muy cuidadoso en la medición y posterior análisis; van Maanen era holandés de origen pero trabajó profesionalmente en los Estados Unidos, en el Observatorio de Monte Wilson.



Messier 101: bella espiral vista de frente en la cual van Maanen creyó haber detectado rotación y expulsión de “materia” a los largo de los brazos espirales.

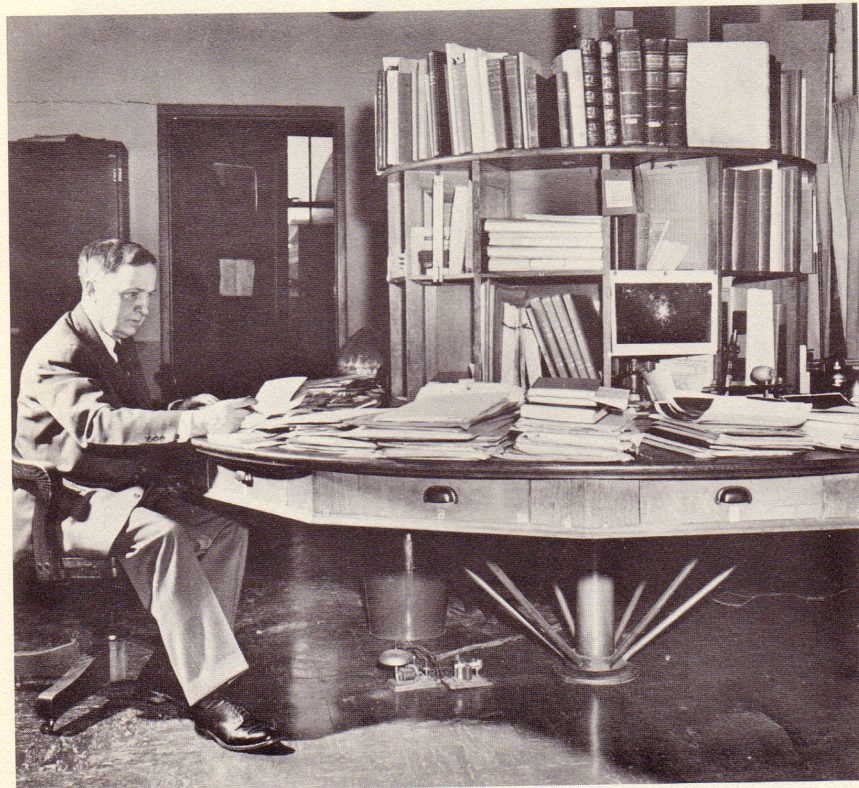
2.09.4 Shapley y Curtis:

En 1918 **Harlow Shapley**, estudiando los cúmulos globulares propuso que la galaxia tenía un diámetro de 300.000 años-luz y que el Sol se sitúa a 60.000 años-luz del centro galáctico. Con estas dimensiones tan inmensas Shapley pensó naturalmente que las nebulosas espirales, que muchos autores señalaban a tan sólo 10.000 años-luz de distancia, debían pertenecer a nuestra galaxia.

Otro hecho que vino a confundir las opiniones de la época fue el descubrimiento hecho en 1917 por **Ritchey**, de una supernova en NGC 6946. Esta fue confundida con una nova ordinaria, de las cuales se conocían ya muchas en la Vía Láctea, lo que condujo a una subestimación de la distancia a las espirales. En la nebulosa de Andrómeda se había descubierto en 1885 una de estas novas extraordinarias (más tarde llamadas supernovas) que alcanzó magnitud 6 mientras las novas ordinarias en

Andrómeda alcanzan magnitud 16 (confundir una supernova con una nova es subestimar su distancia en un factor 100).

El interés de la comunidad científica por la naturaleza de las nebulosas espirales condujo al evento que, algo pomposamente, ha sido calificado como *"el gran debate"*, que sostuvieron los astrónomos **Harlow Shapley** y **Herber Curtis** ante la Academia Nacional de Ciencias, el 26 de Abril de 1920, en Washington D.C. El debate se tituló: *"La Escala del Universo"*. Ambos contrincantes no debatieron exactamente sobre el mismo tema. Shapley discutió principalmente la escala de la Vía Láctea, mientras Curtis enfatizó la naturaleza de las nebulosas espirales.



At the famous rotating desk, here shown in the office in Building "D" to which it was moved about 1933. The central section of the desk also rotates independently; the bell underneath was used to summon staff members to the telephone. This photograph was taken about 1945.

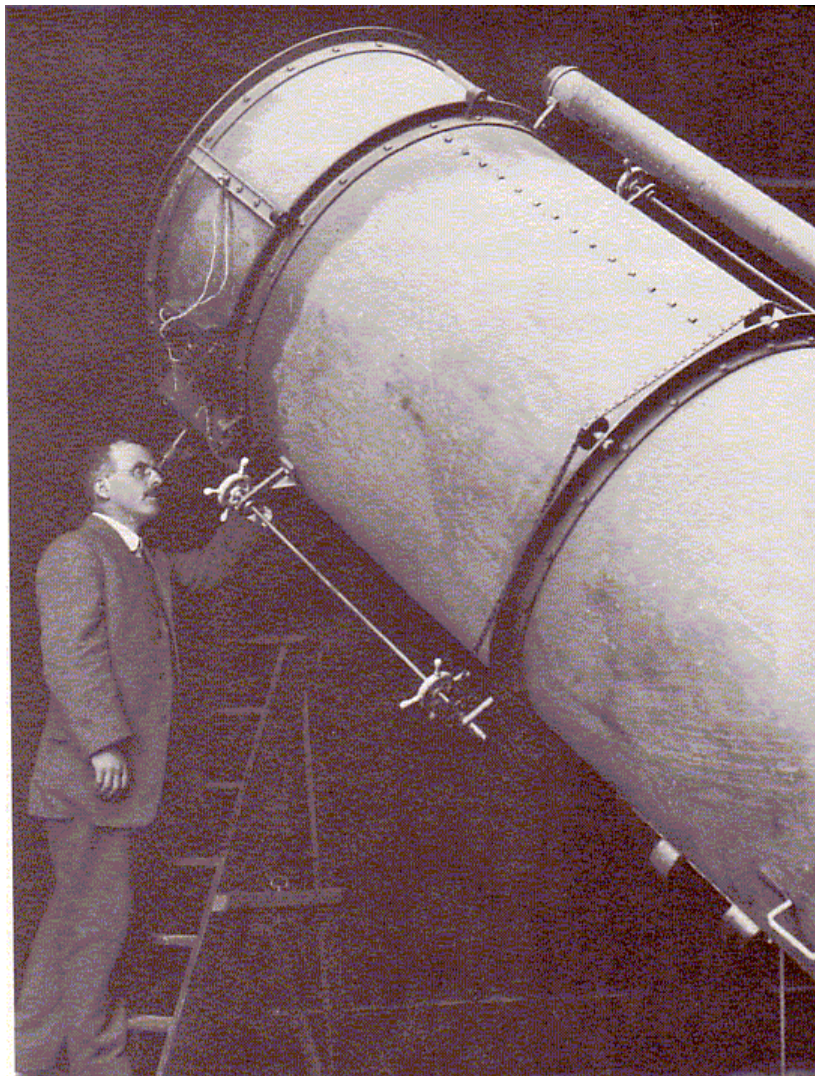
Harlow Shapley en su escritorio rotatorio, en la Universidad de Harvard.

Las presentaciones de Shapley y Curtis fueron hechas a distinto nivel. Shapley habló a un nivel muy general, en cambio Curtis le dio a su presentación un enfoque más técnico. Posteriormente ambos publicaron una versión escrita de sus principales argumentos.

Shapley cometió tres grandes errores. En lo referente a la relación período-luminosidad de las cefeidas, en primer lugar supuso que las variables de los cúmulos

globulares eran igual a las cefeidas galácticas y son 4 veces menos luminosas. En segundo lugar su calibración de la relación período-luminosidad de las cefeidas galácticas subestimaba la luminosidad de las cefeidas en un factor 4, lo cual compensaba perfectamente el error anterior. Finalmente, despreció el papel de la absorción interestelar, lo cual le hace aparecer mas débiles a las estrellas y por ende lo lleva a sobre estimar las distancias a los cúmulos globulares.

Curtis se equivocó también. Subestimó el brillo de las novas galácticas y el tamaño de la Vía Láctea. También subestimó las distancias a las espirales pues pensó que las novas en ellas eran iguales a las galácticas, sin saber que se trata de dos clases muy distintas de objetos. Las de las nebulosas espirales son en verdad supernovas, unas 10 mil veces más brillantes que las novas galácticas.



Herber Curtis observando con el telescopio Crossley del Observatorio Lick.

En lo que a la distancia a las espirales se refiere Shapley estaba aún más equivocado, pues creía los resultados de su amigo van Maanen sobre la rotación de las nebulosas espirales.

Ambos contendores estaban equivocados en parte y acertados en otra. En rasgos generales Shapley tenía razón acerca del modelo de la Vía Láctea y Curtis la tenía en lo que respecta a la naturaleza de las espirales. El resultado inmediato del debate no es sorprendente: cada una de las partes salió con la sensación que la victoria le pertenecía.

2.09.5 Edwin Hubble:

Figure 17.22. Edwin Hubble (1889–1953) was the leading observer of galaxies in his day. In 1923, he found Cepheids in spiral nebulae and so showed that they were separate star systems outside the Milky Way. A few years later he established the redshift-distance relation for galaxies, indicating that the universe was expanding (see Chapter 19).



La discusión acerca de la naturaleza de las nebulosas espirales se cierra definitivamente junto con el primer cuarto del siglo. El 1° de Enero de 1925 el astrónomo americano **Edwin Hubble** (1889-1953) anunció ante la American Association for the Advancement of Science (AAAS) el descubrimiento de variables tipo cefeidas en M31 y M33. Hubble trabajaba con el nuevo gran telescopio de Monte Wilson de 100 pulgadas de diámetro (2,5 metros), el mayor del mundo. A partir de 1923 inició la detección de estrellas variables en placas fotográficas tomadas con el 100 pulgadas. Sus resultados indicaban, más allá de cualquier duda que ambas nebulosas son sistemas estelares totalmente separados de la Vía Láctea, universos-islas en todo derecho y de dimensiones intrínsecas comparables a las de la Vía Láctea. Merecidamente Hubble obtuvo el premio a la mejor presentación científica de la reunión, premio que tuvo que compartir con otro trabajo, tanto en los honores como en el monto: mil dólares. Ese trabajo no lo hizo rico pero sí famoso. Hubble se consagró ahí como uno de los grandes astrónomos del siglo XX.

Bibliografía:

Fernie, J.D. 1970, *"The Historical Quest for the Nature of the Spiral Nebulae"*, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 82, N°490, pp. 1189-1230.

Berendzen, R., Hart, R. y Seeley, D. *"Man Discovers the Galaxies"*, Science History Pub., N. York, 1976.