

Determination of the distance to the Andromeda Galaxy using variable stars

Autor de la tesis: Francesc Vilardell Sallés

Directores de la tesis: Carme Jordi Nebot e Ignasi Ribas Canudas

a) Resultados más importantes obtenidos en la tesis

En el transcurso de esta tesis se realizó la primera determinación **directa** de la distancia a M31 mediante binarias eclipsantes (EBs). Las EBs proporcionan determinaciones directas de la distancia porque las propiedades físicas de sus componentes se pueden medir sin ningún tipo de calibración previa. Las determinaciones de distancia a partir de EBs requieren, como mínimo, dos tipos de observaciones: series fotométricas y espectroscopia. Para la fotometría, obtuvimos curvas de luz de gran calidad ($rms \sim 0.01$ mag en Johnson B y V) con el INT (en La Palma) en un campo de $34' \times 34'$ en M31. Este estudio proporcionó fotometría para 236.238 estrellas del campo y curvas de luz para casi 4.000 estrellas variables, con más de 400 EBs y 400 Cefeidas. Las 24 EBs más brillantes ($V < 20.5$ mag) y con eclipses más profundos ($\Delta V > 0.2$ mag) se seleccionaron como candidatos idóneos para determinar la distancia [1]. Cinco de estas EBs (situadas en una región de $5' \times 5'$) se seleccionaron para ser observadas con el espectrógrafo multiobjeto (GMOS) en el telescopio Gemini-North. Los espectros obtenidos con GMOS se utilizaron para determinar velocidades radiales para las cuatro EBs más brillantes.

El análisis de los datos obtenidos, proporcionó la primera determinación de masas y radios para estrellas de M31 con una precisión mejor del 10% y del 5%, respectivamente, sin ningún tipo de calibración previa (remarcable teniendo en cuenta que la magnitud de las estrellas es $V > 19$ mag). La precisión en los parámetros derivados permitió una comparación con modelos estelares, determinando así el estadio evolutivo de cada sistema. Además, uno de los sistemas estudiados resultó ser el sistema más masivo con movimiento apsidal nunca detectado, permitiendo el análisis de la distribución de materia en el interior de las estrellas con masas superiores a $40 M_{\odot}$ [2]. Finalmente, para dos de las EBs estudiadas, los espectros obtenidos son de calidad suficiente como para realizar una determinación de la temperatura de las componentes y de una distancia directa a M31 [3, 4]. El módulo de distancia obtenido de $(m-M)_0 = 24.36 \pm 0.08$ mag (744 ± 33 kpc) no depende de ninguna calibración previa e incluye la mayor parte de posibles sistemáticas, lo cual puede hacer de esta galaxia uno de los principales calibradores de distancias extragalácticas.

Paralelamente al análisis de binarias, realizamos un exhaustivo estudio de las Cefeidas en M31 [5]. Los resultados obtenidos demostraron que el efecto de la confusión de varias fuentes (*blending*) es tan importante como la corrección de metalicidad para la determinación de distancias con Cefeidas en el Grupo Local y proporcionaron una distancia adicional a M31 de $(m-M)_0 = 24.32 \pm 0.12$ mag, completamente compatible con la distancia de las EBs. Finalmente, se descubrió una gran fulguración estelar durante la adquisición del catálogo fotométrico. El estudio realizado reveló que la fuente era una estrella dM, presentando una de las fulguraciones más energéticas nunca observadas [6].

b) Posible impacto de estos resultados en su campo de especialidad

Actualmente, la escala cosmológica de distancias se basa, casi por completo, en la distancia a las Nubes de Magallanes (p.ej., [7]). Pero la Nube Grande de Magallanes tiene una profundidad no despreciable [8], haciendo que las determinaciones de distancia obtenidas hasta la fecha tengan una gran dispersión [9]. Así pues, la determinación de la distancia a la Galaxia de Andrómeda presentada en este trabajo puede convertir esta galaxia en el principal punto de referencia de las determinaciones de distancias extragalácticas. Su composición y su tipo morfológico son más parecidos al de las galaxias comúnmente utilizadas en la determinación de distancias y el número de indicadores de distancia es mayor en M31 que, por ejemplo, en las Nubes de Magallanes. Muestra de la importancia de los resultados obtenidos es el considerable interés que han despertado los artículos publicados hasta la fecha, con un número importante de citas para [3] (más de 40) y [4] formando parte de los *highlights* de A&A.

c) Futuras líneas de actuación

Las futuras líneas de actuación se basan básicamente en dos principios: 1) reducir la incertidumbre en la distancia ya obtenida y 2) extender el estudio de variabilidad a otras zonas de M31 o a otras galaxias del Grupo Local usando la experiencia adquirida en el presente trabajo.

Para ello, medidas fotométricas en longitudes de onda más larga (filtro I e infrarrojo) serán muy útiles para caracterizar la ley de extinción en M31 y permitirán, además, determinar una relación periodo-luminosidad para Cefeidas en el índice de Wessenheit (W , corregido de absorción), comúnmente utilizada en las determinaciones de distancia con Cefeidas pero nunca determinada más allá de las Nubes de Magallanes.

Finalmente, la obtención de espectroscopia para EBs adicionales ya identificadas en [1] podrían reducir el error en la distancia a esta galaxia a tan sólo el 2%. Para este fin, se requiere tiempo de observación en telescopios de la clase 10 m, con lo que OSIRIS en GTC, cuando tenga los grismas adecuados, podría ser una importante fuente para la consecución de este fin.

d) Publicaciones derivadas de la tesis

Las publicaciones derivadas de esta tesis son las referencias [1] a [6] mencionadas en la bibliografía, además de diversas contribuciones a congresos ([10] a [16]).

Bibliografía

- [1] Vilardell, F.; Ribas, I.; Jordi, C.; *Eclipsing binaries suitable for distance determination in the Andromeda galaxy*; 2006, A&A, 459, 321.
- [2] Vilardell, F.; Ribas, I.; Jordi, C.; et al.; *Fundamental properties of M31VJ00442326+4127082. The most massive eclipsing binary with apsidal motion*; en preparación.
- [3] Ribas, I.; Jordi, C.; Vilardell, F.; et al.; *First Determination of the Distance and Fundamental Properties of an Eclipsing Binary in the Andromeda Galaxy*; 2005, ApJL, 635, L37.
- [4] Vilardell, F.; Ribas, I.; Jordi, C.; et al.; *The distance to the Andromeda galaxy from eclipsing binaries*; 2010, A&A, 509, A70.
- [5] Vilardell, F.; Jordi, C.; Ribas, I.; *A comprehensive study of Cepheid variables in the Andromeda galaxy. Period distribution, blending, and distance determination*; 2007, A&A, 473, 847.
- [6] Kovári, Zs.; Vilardell, F.; Ribas, I.; et al.; *Optical flares from the faint mid-dM star 2MASSJ00453912+4140395*; 2007, AN, 328, 904.
- [7] Freedman, W. L.; Madore, B. F.; Gibson, B. K.; et al.; *Final Results from the Hubble Space Telescope Key Project to Measure the Hubble Constant*; 2001, ApJ, 553, 47.
- [8] Pejcha, O.; Stanek, K. Z.; *The Structure of the Large Magellanic Cloud Stellar Halo Derived using Ogle-III RR Lyr Stars*; 2009, ApJ, 704, 1730.
- [9] Gibson, B. K.; *The distance to the Large Magellanic Cloud*; 2000, Mem. Soc. Astron. Ital., 71, 693.
- [10] Vilardell, F.; Ribas, I.; Jordi, C.; et al.; *Properties and distances of eclipsing binary stars in the Andromeda galaxy*; ASP Conference Series, en prensa.
- [11] Vilardell, F.; Jordi, C.; Ribas, I.; *Distance determination to the Andromeda Galaxy using variable stars*; Highlights of Spanish Astrophysics V, CDROM; eds.: J. Gorgas, L.J. Goicoechea, J.I. Gonzalez-Serrano, J.M. Diego; Springer, en prensa.
- [12] Vilardell, F.; Jordi, C.; Ribas, I.; *Light curve analysis of eclipsing binaries and Cepheids in the Andromeda Galaxy*; Highlights of Spanish Astrophysics IV, CDROM; eds. F. Figueras, J.M. Girart, M. Hernanz, C. Jordi; Springer, 2007.
- [13] Vilardell, F.; Ribas, I.; Jordi, C.; *Fundamental properties of eclipsing binary stars in the Andromeda Galaxy*; ASP Conference Series, 349, 367; eds. C. Sterken, C. Aerts; 2006.
- [14] Vilardell, F.; Ribas, I.; Jordi, C.; et al.; *The distance to M31 from Cepheid variables and eclipsing binaries: the catalog*; The Many Scales of the Universe. JENAM 2004 Astrophysics Reviews, CDROM; eds. J.C. del Toro Iniesta, E.J. Alfaro, J.C. Gorgas, E. Salvador-Solé, H. Butcher; Springer, 2006.
- [15] Ribas, I.; Jordi, C.; Vilardell, F.; et al.; *A program to determine a direct and accurate distance to M31 from eclipsing binaries*; New Astronomy Reviews, Vol. 48, pp. 755-758, 2004.
- [16] Ribas, I.; Jordi, C.; Vilardell, F.; Giménez, Á.; Guinan, E.F.; *A direct and accurate distance to M31 from eclipsing binaries*; Highlights of Spanish Astrophysics III, 503; eds. J. Gallego, J. Zamorano, N. Cardiel; Kluwer Academic Publishers, 2003.