



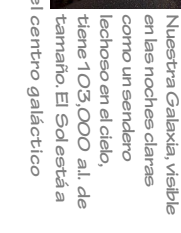
Las galaxias se agrupan en cúmulos de cientos, a veces miles, de galaxias, situados a distancias de cientos de millones de años luz. (Imagen de ESO).

8

La galaxia de Andrómeda, visible a simple vista en el hemisferio norte como una mancha de luz, está a una distancia de unos millones de años luz.



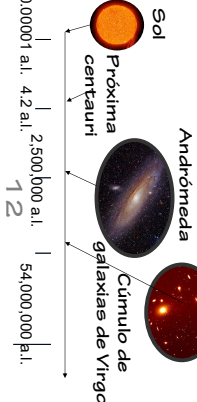
Nuestra Galaxia, visible en las noches claras como un sendero lechoso en el cielo, tiene 103.000 años luz de tamaño. El Sol está a unos 27.000 años luz del centro galáctico (imagen de ESO).



9

En 1900 todavía no se conocía la existencia de otras galaxias aparte de la nuestra, la "Vía Láctea". Se observaban manchitas de luz o "nebulosas", pero se creía que eran objetos situados dentro de nuestra Galaxia. Esta suposición fue cuestionada por Heber D. Curtis en 1920, en el "gran debate" entre él mismo y Harlow Shapley. Sin embargo, la pregunta de si estas "nebulosas" pertenecían a nuestra Galaxia continuó sin respuesta hasta que fue posible determinar sus distancias gracias al método de las cefeidas y, más adelante, por medio de los desplazamientos de líneas espectrales (ver Tuimp 2), medidos en la luz estelar usando prismas o rejillas.

Nebulosas y galaxias
En 1900 todavía no se conocía la existencia de otras galaxias aparte de la nuestra, la "Vía Láctea". Se observaban manchitas de luz o "nebulosas", pero se creía que eran objetos situados dentro de nuestra Galaxia. Esta suposición fue cuestionada por Heber D. Curtis en 1920, en el "gran debate" entre él mismo y Harlow Shapley. Sin embargo, la pregunta de si estas "nebulosas" pertenecían a nuestra Galaxia continuó sin respuesta hasta que fue posible determinar sus distancias gracias al método de las cefeidas y, más adelante, por medio de los desplazamientos de líneas espectrales (ver Tuimp 2), medidos en la luz estelar usando prismas o rejillas.



12

La distancia a la Luna, el inicio de nuestro viaje a los confines del Universo, se conoce hoy mejor gracias a los láseres, con los que se envían destellos de luz que son reflejados por espejos colocados en la Luna durante las misiones Apollo. Obtenemos así una medida muy precisa de la distancia a nuestro satélite, y, por tanto, de las distancias a los otros planetas del Sistema Solar. A mayores distancias, usamos una secuencia de métodos: primero los paralajes, después las cefeidas. Aún más lejos, donde las cefeidas ya no puedan distinguirse, usamos objetos más luminosos, como las supernovas de tipo I. Esta secuencia de métodos es la "escalera de distancias" cosmológica, con cada peldaño de la escalera basado en los anteriores.

5

Al observar la misma estrella desde dos posiciones distintas, obtenemos un triángulo cuya base y dos ángulos se conocen, lo que nos permite determinar la distancia a la estrella. El "paralaje" es el ángulo del vértice del triángulo cuya base es el radio de la órbita de la Tierra. La estrella más cercana, Próxima Centauri, está a 4,2 años luz de distancia, lo que implica un paralaje de tan solo 0,74 segundos de arco ("). En 1838, Friedrich Bessel realizó la primera medida de paralaje: 0,3" para la estrella 61 Cygni. Poco después, se midieron los 0,12" de paralaje de Vega y también los de α Centauri. Hubo más medidas, pero los astrónomos estaban limitados por la sensibilidad de los telescopios. Los satélites europeos Hipparcos, en la década de 1990, y Gaia, hoy en día, han medido millones de paralajes.

Medidas geométricas
Al observar la misma estrella desde dos posiciones distintas, obtenemos un triángulo cuya base y dos ángulos se conocen, lo que nos permite determinar la distancia a la estrella. El "paralaje" es el ángulo del vértice del triángulo cuya base es el radio de la órbita de la Tierra. La estrella más cercana, Próxima Centauri, está a 4,2 años luz de distancia, lo que implica un paralaje de tan solo 0,74 segundos de arco ("). En 1838, Friedrich Bessel realizó la primera medida de paralaje: 0,3" para la estrella 61 Cygni. Poco después, se midieron los 0,12" de paralaje de Vega y también los de α Centauri. Hubo más medidas, pero los astrónomos estaban limitados por la sensibilidad de los telescopios. Los satélites europeos Hipparcos, en la década de 1990, y Gaia, hoy en día, han medido millones de paralajes.

El Universo

Las galaxias se alejan más rápido cuanto más lejos están. Generalizando esta relación, bien establecida y aceptada por la comunidad científica desde 1929, el corrimiento al rojo se convierte a su vez en una medida de distancia para los objetos más lejanos, donde ya no se pueden observar variables cefeidas ni supernovas de tipo I.

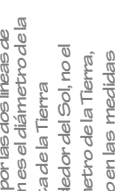
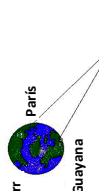
De hecho, los astrónomos no usan el año luz como unidad de distancia para las galaxias o cúmulos más remotos, sino simplemente el corrimiento al rojo. Este corrimiento se denota con la letra z , y su valor corresponde al cambio relativo de la longitud de onda en el espectro observado. Los corrimientos al rojo de la mayoría de las galaxias del cúmulo de Virgo están entre 0,5 y 1, mientras que el corrimiento de la galaxia más distante conocida hoy en día es de 11,09.

13

El Universo

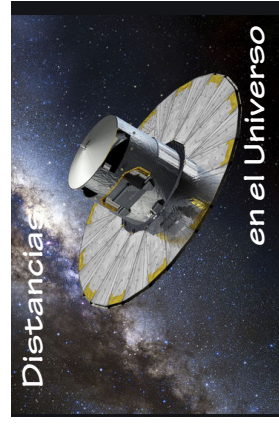
En el caso de las planetas, el tamaño de la Tierra nos permite obtener dos líneas de visión distintas. Esta técnica se usó para medir la distancia a nuestro vecino, el planeta Marte, en 1672. El ángulo entre las líneas de visión desde París y Guayana Francesa permitió medir la distancia a Marte, y obtener así su distancia al Sol: como ya conocíamos las distancias relativas del Sol a Marte y del Sol a la Tierra, la distancia Tierra-Marte nos permitió calcular la distancia Tierra-Sol.

Una estrella cercana proyectada sobre un fondo de estrellas lejanas que pueden suponerse en el infinito. Seis meses más tarde, la estrella se ve sobre un fondo estelar distinto. En este caso, la base del triángulo formado por las dos líneas de visión es el diámetro de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, no el diámetro de la Tierra, como en las medidas realizadas en 1672.



2

El Universo en mi bolsillo



Test

Supongamos que tenemos una nave espacial capaz de viajar a una décima parte de la velocidad de la luz...



¿Cuánto tiempo llevaría alcanzar:

- ¿El Sol?
- ¿Próxima Centauri?
- ¿Vega?
- ¿La galaxia de Andrómeda?
- ¿Las galaxias del cúmulo de Virgo?

Respuestas al dorso



Christiane Vilain
Observatorio de París

13

3

3

4

13

3

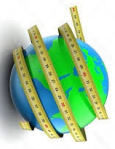
3

4



2

En lo que se refiere a las distancias a los planetas, cuando Copérnico proclamó en 1573 que la Tierra gira alrededor del Sol (ver la figura de la izquierda), solo conocíamos las distancias relativas del Sol a los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, y no sus distancias absolutas.



Las distancias astronómicas no pueden medirse con una regla. Necesitamos usar distintos trucos. El astrónomo griego Eratóstenes, el primero que estimó los rayos del Sol entre Siena y Alejandria. Poco después, en Alejandria, Aristarco de Samos tuvo otra ingeniosa idea para medir la distancia a la Luna. Midió la duración de un eclipse de la Luna por la Tierra. Esto le permitió estimar que el diámetro de la Tierra es tres veces el de la Luna (el valor real es 3.7) y, por tanto, deducir el diámetro de la Luna usando el tamaño de la Tierra de Eratóstenes. Con el diámetro de la Luna y su tamaño angular, pudo calcular su distancia.

En lo que se refiere a las distancias a los planetas, cuando Copérnico proclamó en 1573 que la Tierra gira alrededor del Sol (ver la figura de la izquierda), solo conocíamos las distancias relativas del Sol a los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, y no sus distancias absolutas.

Cefeidas

La luz estelar nos llega atenuada por un factor igual al cuadrado de la distancia a la estrella. Por tanto, si conocemos la luminosidad de una estrella, esto nos permite determinar su distancia.

Es por ello que el descubrimiento de Henrietta Leavitt fue tan importante. Las estrellas variables del tipo que ella descubrió en la constelación de Cefeo y en las Nubes de Magallanes se encuentran también en otras galaxias. Sus periodos de variación indican sus luminosidades y, por tanto, nos permiten calcular sus distancias.

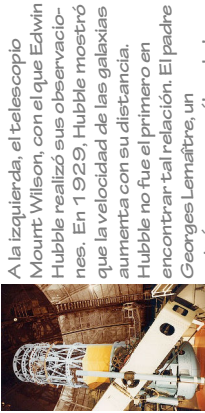
Tales estrellas pueden detectarse hoy hasta distancias de 80 millones de a.l. usando el telescopio espacial Hubble, lanzado en 1990.

7

Respuestas



- Cuánto tiempo llevaría alcanzar:
- El Sol: 80 minutos.
- Próxima Centauri: 4.2 años.
- Vega: 250 años.
- La galaxia de Andrómeda: 25 millones de años.
- Galaxias del cúmulo de Virgo: 540 millones de años.



Ala izquierda, el telescopio Mount Wilson, con el que Edwin Hubble realizó sus observaciones. En 1929, Hubble mostró que la velocidad de las galaxias aumenta con su distancia. Hubble no fue el primero en encontrar tal relación. El padre astrónomo y cosmólogo belga, Georges Lemaitre, un

ya había sugerido que los corrimientos al rojo de las galaxias eran proporcionales a sus distancias. La "constante Hubble-Lemaître", la cual nos dice cuánto aumenta la velocidad de recepción de las galaxias por cada Mpc de su distancia a nosotros, fue estimada por primera vez como unos 500 km/s por Mpc (1 Mpc = un millón de parsecs, con un parsec igual a 3.26 a.l.), pero desde 1950, estimaciones mucho mejores llevan a números de entre 50 y 100 km/s por Mpc. La estimación actual es de 73 km/s por Mpc, con una incertidumbre del 2%. Sin embargo, los datos del satélite Planck, basados en un enfoque cosmológico, dan un valor de 67.4 ± 0.5 km/s por Mpc.

10

Corrimiento al rojo

El análisis espectral de la luz estelar revela líneas oscuras debidas a la absorción de luz por los elementos químicos presentes en las capas externas de las estrellas (ver Tulpas 2 y 10).

En 1914, Vesto Slipher notó que las líneas oscuras observadas en los espectros de las galaxias estaban corridas hacia el rojo. Este corrimiento se interpretó como un "efecto Doppler": la frecuencia de la onda de luz y, por tanto, su color, se modifica por la velocidad de la fuente. Este efecto es similar al que afecta al sonido de una bocina, el cual es más agudo cuando el vehículo se acerca y más grave cuando se aleja. La luz más roja tiene una frecuencia menor, lo que indica una velocidad de alejamiento: las galaxias parecen estar "huyendo" de nosotros!

En 1929, Edwin Hubble estimó las distancias de 46 galaxias usando las cefeidas que contenían, y mostró que sus corrimientos al rojo aumentaban con sus distancias.

11

El Universo en mi bolsillo No. 15

Este libro fue escrito en 2020 por Christiane Vialin (Observatorio de París) y revisado por Grazyna Stasińska (Observatorio de París) y Stan Kurtz (UNAM, México). Tristemente, Christiane falleció mientras el libro era procesado.

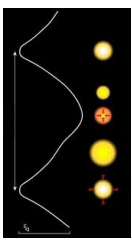
La imagen de la primera página de este libro es una representación artística del satélite Gaia, el cual ha medido millones de distancias a estrellas y galaxias.

(Crédito ESA)



Para saber más sobre esta serie y sobre los tópicos presentados en este libro, por favor visita <https://www.tulpas.org>

Traducción: Mónica Rodríguez
TULMP Creative Commons



6



Al inicio del siglo 20, la astrónoma americana Henrietta Leavitt (1868-1921), encontró que ciertas estrellas tienen un brillo que varía con un período regular (ver figura de abajo). Observó por primera vez estas estrellas en la constelación de Cefeo, por lo que hoy se las conoce como variables cefeidas. Más tarde, observó estrellas similares en nuestras galaxias vecinas, las "Nubes de Magallanes". Su período dependía de la luminosidad de la estrella, la cual podía calcularse asumiendo que todas las estrellas estaban a la misma distancia que su galaxia huésped.

Aunque su jefe, Edward Pickering, intentó disuadirla, Henrietta perseveró y detectó casi dos mil variables cefeidas, con lo que pudo deducir la proporcionalidad entre período y luminosidad. Murió antes de saber lo importante que iba a ser su descubrimiento.

Distancias en el cosmos

En la antigüedad se sabía cómo estimar el radio de la Tierra y su distancia a la Luna (ver página opuesta), pero no la distancia al Sol, de 150 millones de km. Esa distancia se conoce como una Unidad Astronómica (UA).

En esos tiempos, la gente pensaba que el Sol estaba más cerca. También pensaban que las estrellas eran "soles" distantes, pero no se dieron cuenta de cuán lejos están las estrellas, tanto que su luz necesita varios años para alcanzarnos. Por esta razón, usamos como unidad el "año luz" (a.l.), que es la distancia que la luz viaja en un año: ¡9460 millones de km!

Las observaciones de hoy en día nos permiten alcanzar distancias mucho mayores - hasta millones de a.l. - gracias a grandes telescopios terrestres y a telescopios o satélites espaciales.

5