



UNIDAD 3:

DISTANCIAS (2ª Parte). CUÁSARES

Autor: Oswaldo González

Revisión y actualización de contenidos: Nayra Rodríguez

Asesor Científico: Alfred Rosenberg

Ilustraciones: Inés Bonet

Midiendo la distancia a las estrellas (2ª parte)

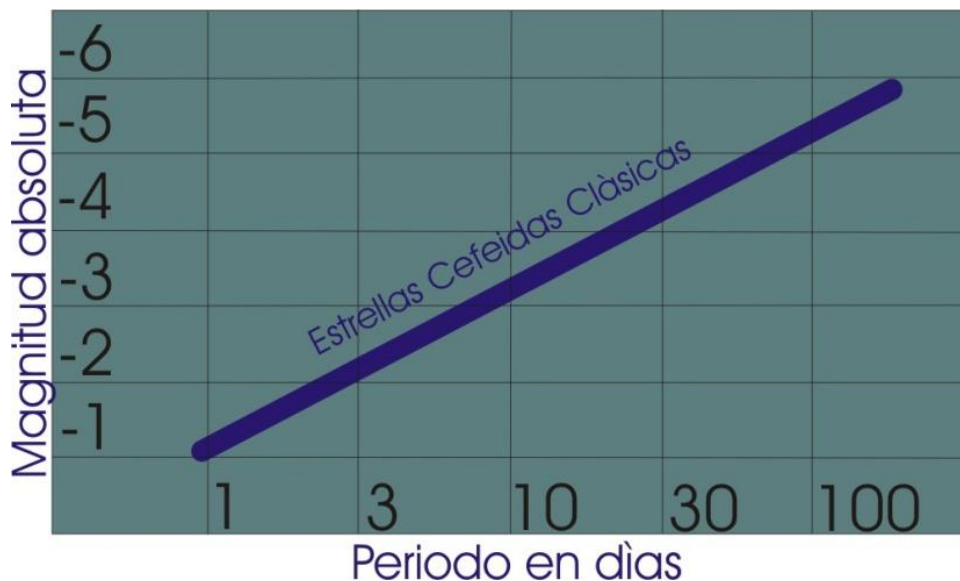
En la Unidad 2 vimos que con el método de *la paralaje* podemos medir la distancia a objetos a los que no podemos acceder. Además, comprobamos que la máxima distancia que podemos medir con este método no superaba los 100 años-luz, que corresponde a las estrellas de nuestra galaxia más cercanas al Sol. A partir de esa distancia el método ya no es útil, por lo que los astrónomos y astrónomas han tenido que buscar otros sistemas para calcular la distancia al resto de estrellas de nuestra galaxia e incluso a otras galaxias. Estos métodos alternativos se basan en el brillo de diversos tipos de objetos astronómicos, con unas características determinadas. Veamos algunos de esos métodos.

Las cefeidas

Durante milenios, el ser humano pensó que las estrellas eran constantes e inmutables. Pero con la observación regular se detectó que algunas estrellas cambian lentamente, aumentando y disminuyendo su brillo: son las **estrellas variables**. Hay muchos tipos de estrellas variables, pero aquí vamos a indagar sobre un tipo en particular, *las Cefeidas*. En 1784, a los 19 años de edad, un astrónomo inglés llamado John Goodricke descubrió que la estrella Delta de la constelación de Cefeo era variable. Poseía una variación cíclica en su brillo de tan sólo 5,4 días durante los cuales el brillo de la estrella aumentaba y volvía a disminuir hasta recuperar su intensidad inicial.

Las variables cefeidas tienen una propiedad muy particular que fue descubierta en 1908 por Henrietta S. Leavitt investigando miles de estrellas variables en unas galaxias cercanas a la nuestra, las Nubes de Magallanes. Esta propiedad es que el periodo de variación de brillo está relacionado con la **luminosidad** de la estrella, es decir, con su brillo intrínseco o cantidad de energía que emite por unidad de tiempo. Cuanto mayor es el periodo de la cefeida, mayor es su luminosidad. Esto es de vital importancia, pues nos proporciona una herramienta para calcular distancias en el Universo. Veamos cómo: si observamos una estrella cualquiera y no sabemos a qué distancia se encuentra de nosotros, solo podremos determinar la **magnitud aparente** de la misma, que es una medida de su brillo visto desde la Tierra. En cambio, si observamos una cefeida y medimos su periodo de pulsación, conoceremos su **magnitud absoluta**, que nos dice cuál es el brillo intrínseco de la estrella. Como también podemos determinar su magnitud aparente vista desde la Tierra, podemos hallar aproximadamente la distancia que nos separa de ella.

NOTA: el brillo mide la cantidad de luz que recibimos de un objeto y disminuye con el cuadrado de la distancia a éste. Así, una estrella que emita la misma cantidad de luz (brillo intrínseco) que otra pero que esté al doble de distancia, se verá cuatro veces más débil.



Para poder determinar la distancia a una galaxia utilizando este método necesitamos ver de forma aislada las estrellas que la componen, en concreto, las cefeidas. Esto resulta imposible de realizar cuando hablamos de galaxias lejanas. Por tanto, para poder medir la distancia a los objetos más lejanos del Universo debemos estudiar otras propiedades de la luz que nos llega de ellos.



La magnitud de las estrellas

La característica más llamativa al contemplar las estrellas es su brillo. El astrónomo griego Hiparco, alrededor del año 150 a.C., las clasificó en función de esta propiedad, realizando el primer catálogo de estrellas que se conoce. Primero buscó las estrellas más brillantes, midió su posición y les asignó la 1ª magnitud, por ser las que más destacaban. Después escogió las estrellas que más o menos parecían tener la mitad de brillo que las anteriores y les asignó la 2ª; a las que eran la mitad de brillantes que las anteriores les atribuyó la 3ª, y así sucesivamente hasta llegar a las más débiles que podía detectar a simple vista, a las que asignó la 6ª magnitud.

Este método, aunque bueno, no era del todo exacto, pues a simple vista y sin ningún instrumento de medida no podía determinar el brillo exacto de las estrellas. Pero en 1830, John Herschel inventó un método más preciso para medir los brillos estelares y encontró que la mayoría de las estrellas de 1ª magnitud de la serie de Hiparco eran 100 veces más brillantes que las de 6ª magnitud. Por lo tanto, la diferencia de brillo entre una magnitud y la siguiente que en un principio se había considerado como el doble, era en realidad 2,512 veces. Ésta es la escala que en la actualidad utilizan los astrónomos.

Herschel descubrió que algunas estrellas eran más brillantes que las que Hiparco había denominado de 1ª magnitud, por lo que ahora tenemos las de magnitud 0, e incluso de magnitud negativa. Por ejemplo, la estrella más brillante que podemos ver en el cielo nocturno, Sirio, tiene una magnitud aparente de -1,4.

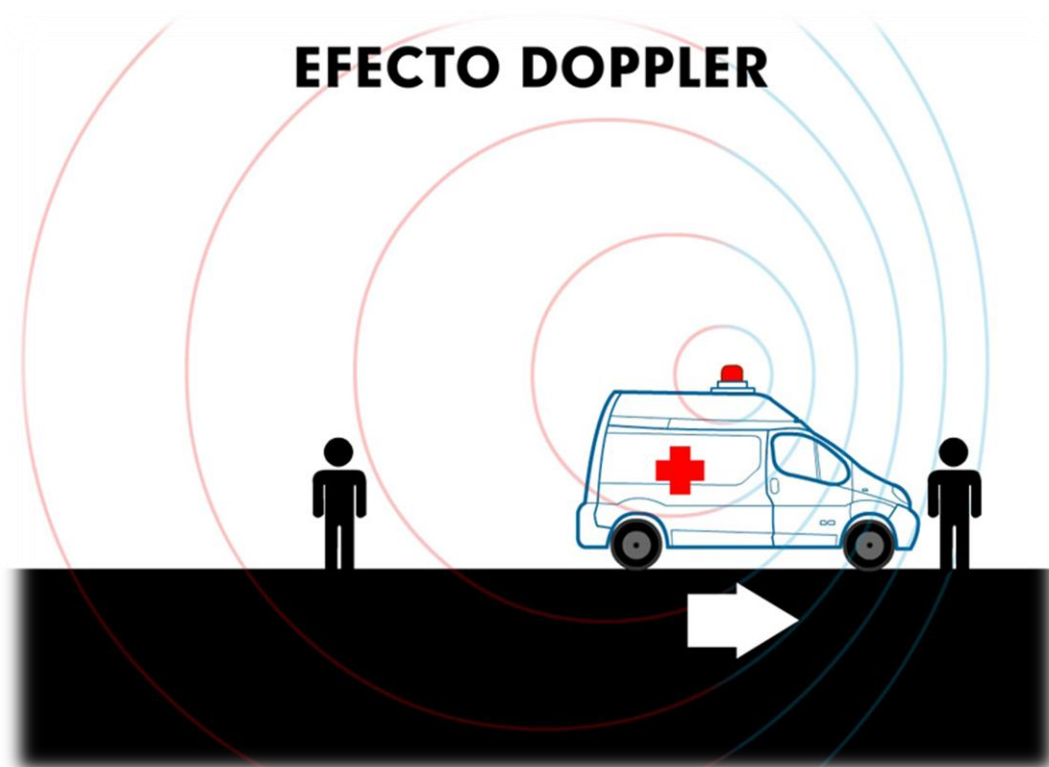
Para poder comparar el brillo intrínseco de una estrella con otra, deberíamos hacerlo como si estuvieran a la misma distancia. Como no podemos mover las estrellas hasta situarlas a una distancia estándar, los astrónomos pueden calcular lo brillante que sería una estrella de distancia conocida si estuviera situada a una distancia diferente. De esta manera, se refieren a su brillo intrínseco como su *magnitud visual absoluta* M_v , es decir, la magnitud visual aparente que tendría la estrella si estuviera a una distancia de 10 parsecs. Por ejemplo, nuestra estrella, el Sol, la observamos con una magnitud visual de -26,7, pero si la situáramos a una distancia de 10 parsecs, la veríamos con una magnitud visual de 4,9, casi como las estrellas más débiles que vemos en el cielo a simple vista. Es decir, la magnitud absoluta del Sol es de 4,9.



El desplazamiento hacia el rojo

Seguro que habrás notado que cuando se acerca una ambulancia haciendo sonar su sirena, ésta suena de manera diferente cuando se acerca a nosotros y cuando se aleja. A esta diferencia en el sonido, debido al movimiento de la fuente que lo emite respecto a nosotros, se le denomina **efecto Doppler**. Mientras que la sirena emite a una frecuencia determinada, nosotros la percibimos de manera diferente dependiendo de si se acerca o se aleja de nosotros. Si hace lo primero, notamos un sonido más agudo, mientras que cuando se aleja, notamos un sonido más grave.

4



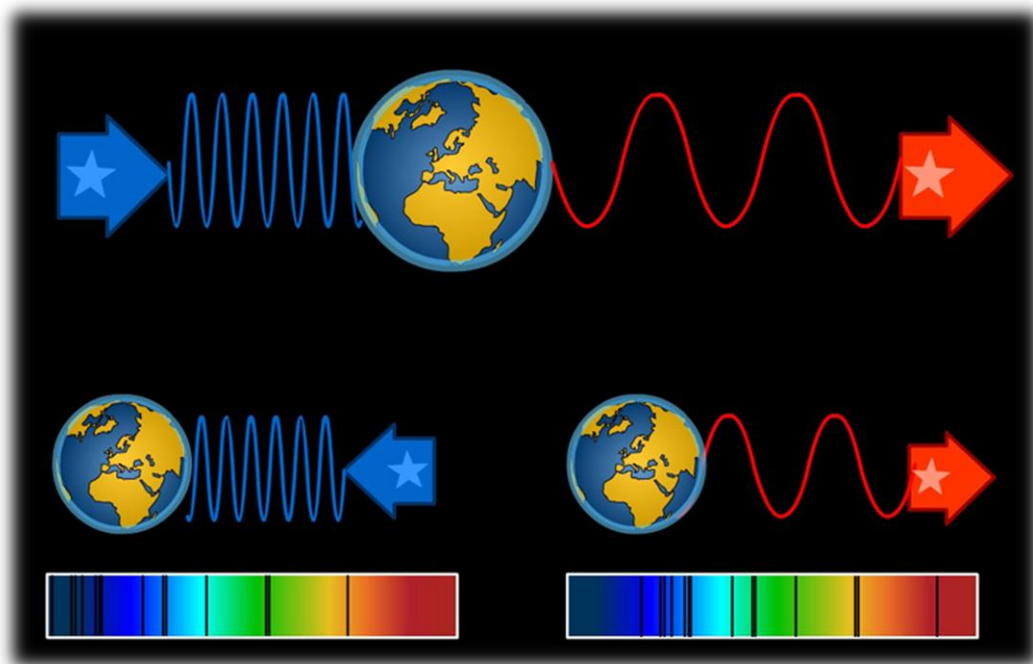
Este efecto Doppler que percibimos en el sonido también es detectable en la luz. Cuando una fuente luminosa se desplaza a velocidades muy grandes respecto a nosotros, podemos observar cómo cambia la frecuencia (el color) de la luz que recibimos de ella, haciéndose más azul cuando se acerca a nosotros y roja cuando se aleja.



Proyecto
Educativo con
Telescopios
Robóticos

DISTANCIAS (2ª Parte). CUÁSARES

Podemos determinar la velocidad a la que se mueven los objetos celestes (estrellas, galaxias, etc.) observando su espectro, es decir, haciendo pasar su luz por un espectroscopio que nos permite ver los diferentes colores que contiene la luz y las marcas de los componentes químicos que se encuentran en la fuente de luz. Si estas marcas, que llamamos **líneas espectrales**, se desplazan hacia el color rojo, significa que la fuente luminosa se aleja de nosotros.



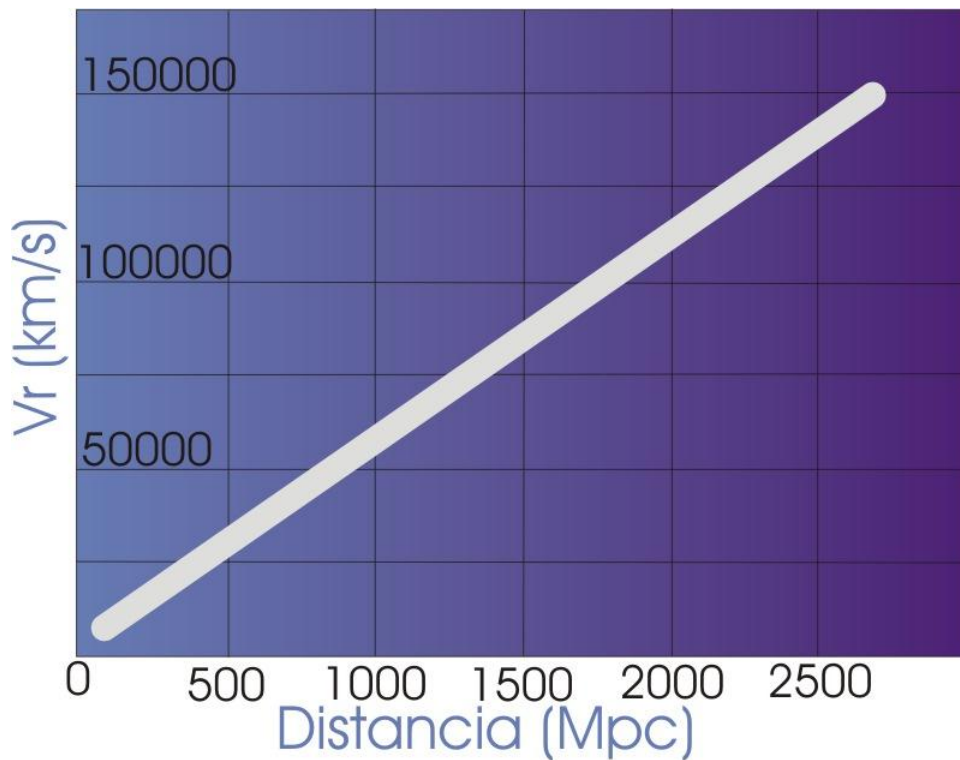
Espectros de una fuente luminosa que se acerca a la Tierra (izquierda) y se aleja de ella (derecha). Se observa como las líneas espectrales se desplazan al azul (izquierda) y al rojo (derecha), respectivamente.

En el caso de las galaxias, estas se alejan unas de otras debido a la expansión del Universo. El astrónomo Edwin Hubble encontró que cuanto mayor es la distancia a una galaxia, con mayor velocidad se aleja de nosotros, y aprovechó esta circunstancia para medir las distancias a las galaxias.

La ley de Hubble relaciona la distancia a una galaxia con su **velocidad de recesión**, es decir, la velocidad a la que esa galaxia se aleja de nosotros por efecto de la expansión del Universo. Se puede enunciar así: la velocidad de recesión de una galaxia, V_r , en kilómetros por segundo (km/s) es igual a la constante de Hubble, H , multiplicada por su distancia, D , en megaparsecs (Mpc, millones de parsecs). Recuerda que 1 parsec = 3,26 años-luz.

$$V_r = H \times D$$





Podemos visualizar esta relación en un gráfico en el que dibujamos velocidades de recesión y distancias para un cierto número de galaxias. Los puntos representativos de las galaxias se distribuyen a lo largo de una línea recta, mostrándonos que cuanto más lejos está la galaxia, con mayor velocidad se aleja de nosotros.

Las mejores estimaciones de velocidad y distancia nos sugieren un valor para la constante de Hubble de aproximadamente 70 km/s/Mpc . Esto nos indica que por cada millón de parsecs que exista entre dos galaxias, éstas se alejan una de la otra a una velocidad de unos 70 km/s . Si podemos medir la velocidad de una galaxia, podemos estimar su distancia a la nuestra dividiéndola por la constante de Hubble. Por ejemplo, el cúmulo de galaxias de Virgo tiene una velocidad de recesión de 1180 km/s . Para hallar su distancia, dividimos por H y nos daría 17 Mpc (17 millones de parsecs).



LOS CUÁSARES.

Los cuásares (o quásares) son objetos muy lejanos que emiten una cantidad enorme de energía y que tienen aspecto de fuente puntual, parecido al de las estrellas, lo que les dio su nombre en inglés '*quasi-stellar objects*' (objetos casi estelares) o '*quasars*'.

Los primeros cuásares se descubrieron a mediados del siglo pasado. Se detectaron primero como fuentes de radio en las observaciones con radiotelescopios (telescopios que observan en el rango de ondas de radio). Utilizando radiointerferómetros (radiotelescopios destinados al cálculo del diámetro de objetos celestes que emiten en radio) se midió el diámetro angular de los cuásares descubiertos y se vio que estos tenían diámetros angulares muy pequeños, mucho menores que los de las galaxias. Cuando los astrónomos fotografiaron las regiones del cielo que contenían estas radiofuentes con telescopios ópticos, tampoco encontraron la imagen de las extensas galaxias que esperaban. En su lugar, había pequeños objetos luminosos parecidos a estrellas. Al obtener el espectro de los primeros cuásares, se observó que tenían desplazamientos al rojo mucho más grandes que el de cualquier otro objeto observado anteriormente.

En Astronomía, el **desplazamiento hacia el rojo** (o corrimiento al rojo) z de una línea espectral es la diferencia entre las longitudes de onda observada (λ_o) y emitida (λ_e), $\Delta\lambda = \lambda_o - \lambda_e$, dividida por la longitud de onda emitida λ_e .

$$\text{Desplazamiento hacia el rojo} = z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_e}$$

Es habitual convertir el desplazamiento al rojo en velocidad de recesión mediante la relación

$$V_r = c z$$

siendo c la velocidad de la luz.

Los cuásares tienen desplazamientos hacia el rojo muy grandes debido a la expansión del Universo y, por tanto, también tienen velocidades de recesión muy grandes. La ley de Hubble nos dice que mayores desplazamientos al rojo implican mayores distancias, lo que nos indica que los cuásares son los objetos más lejanos que se conocen.

Pero lo más importante de estos objetos no es sólo que estén tan lejos, sino que sean visibles, es decir, deben ser súper luminosos. Para que un cuásar pueda ser visible como una estrella débil debe ser tan brillante como mil



galaxias juntas. Más sorprendente aún es que esta ingente cantidad de energía proviene de una región que debe ser inferior a 1 año luz, una cienmilésima parte del tamaño de una galaxia. ¿Cómo un objeto “*tan pequeño*” podría generar entre diez y mil veces más energía que todas las estrellas de una galaxia? Recordemos que en una galaxia común, como la nuestra, puede haber unos 200.000 millones de estrellas.

El origen de esta impresionante fuente de energía lo podemos encontrar en la existencia de enormes **agujeros negros** en el centro de los cuásares. Los agujeros negros son los restos de estrellas masivas (al menos unas 8 veces la masa del Sol) que, tras su vida como estrella, explotan como supernovas y su núcleo se comprime tanto que su gravedad se hace muy elevada, de forma que ni siquiera la luz pueda escapar de los mismos. De ahí el nombre de “agujeros negros”. Podemos detectarlos por los efectos que producen en los cuerpos que se encuentran en su cercanía.

El agujero negro en el interior de un cuásar contendría millones de veces la masa del Sol. Toda esa masa produce una gravedad enorme que atrae hacia él cantidades ingentes de gas, polvo e incluso estrellas, que al acercarse al agujero negro son calentados a altas temperaturas y emiten muchísima energía. Este es el motivo por el que somos capaces de ver estos objetos a distancias enormes de nosotros.

Se ha descubierto que los cuásares muestran cambios de brillo en escalas de tiempo diversas, desde algunos meses a semanas, días e incluso horas. Estos rápidos cambios de brillo indican que los cuásares son pequeños, ya que un objeto no puede cambiar más rápido que el tiempo que tarda la luz en viajar desde uno de sus extremos al otro.



Para más información, visite nuestra página web: www.iac.es/peter

Contacto: **Nayra Rodríguez Eugenio** (peter@iac.es)
Unidad de Comunicación y Cultura Científica
Instituto de Astrofísica de Canarias
Calle Vía Láctea s/n
38205 La Laguna
Santa Cruz de Tenerife
España

9

Esta unidad didáctica ha sido financiada por:



Proyecto
Educativo con
Telescopios
Robóticos

DISTANCIAS (2ª Parte). CUÁSARES