

De Albert Einstein a Sheldon Cooper

- Sheldon: A ver, Penny, soy un físico, tengo conocimientos completos de todo el universo y de todo lo que contiene.
- Penny: ¿Quiénes son Radiohead?
- Sheldon: Tengo conocimientos de todas las cosas importantes del universo.
- (Temporada 2, episodio 18)

Si hay un físico que sea conocido incluso por las personas que no están interesadas por la ciencia, ese es Albert Einstein. El físico alemán también es una figura muy importante en *The Big Bang Theory*, sobre todo para Sheldon Cooper, que lo tiene como un referente (podemos ver que incluso tiene un busto de Einstein en su mesa) y al que llega imitar. En un episodio en el que no encuentra la solución a un problema, Sheldon decide trabajar como camarero en el mismo restaurante donde lo hace Penny, creyendo que lo rutinario y anodino de la tarea de ella le ayudará a encontrar una idea genial. Lo hace inspirándose en Albert Einstein, cuyo tedioso trabajo en la oficina de patentes de Berna le ayudó a crear su teoría de la relatividad especial en 1905. Del mismo modo, y tras asumir que había fracasado en su investigación de los monopolos, aseguró que sus errores serían reconocidos como aciertos en el futuro, tal como ocurrió con la constante cosmológica de Albert

Einstein, primero considerada un error (por el propio científico), pero luego considerada válida.

De hecho, pueden trazarse diversos paralelismos entre el personaje y el físico que demuestran que los guionistas tomaron como referencia al físico de la lengua fuera. En lo biográfico, a los dos les costó hacer amigos de pequeños, ambos aborrecían la escuela, los dos aprendieron a tocar un instrumento a una edad muy temprana, durante la niñez tenían la costumbre de repetir frases una y otra vez (algo que Sheldon sigue haciendo como adulto), y empezaron a diseñar aparatos desde muy jóvenes. En cuanto a su personalidad, los dos tienen memoria eidética, se caracterizan por tener poco tacto y una nula capacidad para ser empáticos, y a menudo se concentran tanto que se olvidan de comer o dormir. Como Albert Einstein, la principal preocupación de Sheldon Cooper es el universo y

todo lo que contiene, un área de conocimiento en la que se considera una eminencia. ¿Pero a qué nos referimos exactamente cuando hablamos de universo?

Para entenderlo, debemos dar unos cuantos pasos hacia atrás en el tiempo y hablar de otro de los héroes de Sheldon, el físico y matemático escocés James Clerk Maxwell, que en 1864 publicó un importante artículo¹ en el que unificó la electricidad y el magnetismo (hasta entonces considerados fenómenos distintos) en un campo electromagnético, y formuló cuatro ecuaciones que resuelven cualquier problema relacionado con dichas materias. Las ecuaciones contienen una constante c , que Maxwell relaciona con la velocidad de la luz porque intuye que «la luz consiste en las ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos».

La relatividad especial

En las ecuaciones de Maxwell, la velocidad de la luz tiene un valor determinado que no depende de ningún otro factor. Siendo así, cualquier medición de la velocidad de la luz debería obtener el mismo resultado, sin importar la velocidad con que el experimentador se

¹ *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field* (Una teoría dinámica del campo electromagnético).

mueva. Sin embargo, ello contradice la mecánica clásica newtoniana, según la cual la velocidad con que vemos acercarse un vehículo que se dirige hacia nosotros depende de cuál sea la nuestra. Por tanto, o las ecuaciones de Maxwell no eran correctas o fallaba la mecánica clásica, de la que no había razón para dudar, hasta entonces.

Albert Einstein estudió la cuestión y la resolvió con un giro genial y sorprendente: consideró que las ecuaciones de Maxwell eran correctas y que, por tanto, si la velocidad de la luz es invariable, entonces son el espacio y el tiempo los que deben ser variables. Desarrolló los cálculos a partir de esta idea y llegó a la conclusión de que cuando un objeto se mueve respecto a un observador estacionario para el objeto, el tiempo se dilata y el espacio se contrae (y también la masa del objeto aumenta en función de la velocidad, manifestando la equivalencia de masa y energía, según la célebre fórmula $E = mc^2$). La magnitud de estas variaciones viene dada por el valor

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Einstein describió estos resultados en un artículo² en 1905, el tercero que

publicó aquel año, que constituye la teoría de la relatividad especial. Con la relatividad, los conceptos de espacio y tiempo dejan de ser independientes y se unen en un único espacio-tiempo.

Nos parece extraño, incluso absurdo, pensar en el espacio y el tiempo como algo que varía según el observador. Imaginamos el espacio como un escenario estático en el que se mueven los objetos y nosotros mismos, y en el que transcurre el tiempo siempre con el mismo ritmo, el mismo para todos. Y es que en nuestra vida diaria no apreciamos los efectos de la relatividad especial porque, como vemos en la fórmula, su magnitud depende del cuadrado de la relación entre la velocidad con que nos movemos y la velocidad de la luz. Para que la variación respecto a la mecánica newtoniana sea apreciable, la velocidad del objeto debe aproximarse a la velocidad de la luz, cosa que no se da en las circunstancias en que habitualmente nos movemos.

Sin embargo, si fuésemos capaces de desplazarnos a velocidades mucho más altas podríamos encontrarnos con situaciones sorprendentes, como la denominada paradoja de los dos gemelos, en la que uno de ellos marcha al espacio

en una nave espacial que viaja a una velocidad próxima a la de la luz mientras que el otro permanece en la Tierra. Según cuál sea el recorrido y la velocidad del viaje puede suceder, por ejemplo, que cuando el viajero regrese tras unos pocos años de viaje, en la Tierra hayan transcurrido muchos más, y encuentre a su hermano ya anciano, mientras que él apenas ha envejecido. Aunque tal experimento no ha podido ser llevado a cabo en las condiciones descritas, sí ha podido reproducirse a menor escala en diversas situaciones. En 1971 el físico Joseph C. Hafele y el astrónomo Richard E. Keating instalaron relojes atómicos de alta precisión en aviones comerciales y al terminar el viaje pudieron comprobar una diferencia con los que habían dejado en tierra, que coincidía con las previsiones de la relatividad especial. Posteriormente, el efecto ha sido replicado en múltiples y variadas circunstancias, confirmando en todas ellas las previsiones de Einstein.

La relatividad general

La relatividad especial recibe este nombre porque solo tiene en cuenta el caso especial en que los objetos se desplazan a una velocidad constante,

²Zur *Elektrodynamik Bewegter Körper* (Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento).

y Einstein quería ampliarla para que incluyera también los efectos de la gravedad y la aceleración (convirtiéndola de este modo en la teoría de la relatividad general). Durante la década siguiente a la publicación de la teoría de la relatividad especial, Einstein estuvo trabajando intensamente (sería más correcto decir obsesivamente) en tal empeño. Cierta día de 1907 (según se dice, cuando estaba en la oficina de patentes³) imaginó a una persona cayendo del tejado y pensó que durante su caída no sentiría la atracción de la gravedad. Similarmente, un objeto que sufre una fuerte aceleración experimenta un efecto similar al de la gravedad (es por ello por lo que durante la carrera de despegue de un avión la aceleración pega los pasajeros a los asientos con un efecto similar al que produciría la gravedad si estuvieran tumbados sobre ellos). De ahí dedujo que aceleración y gravedad eran equivalentes⁴ (Einstein consideraba que este había sido el «pensamiento más feliz de su vida»).

Diez años le ocupó a Einstein completar la relatividad general. Según esta, el universo no es uniforme, sino que se deforma (se

curva) en las proximidades de la materia. En palabras del físico teórico norteamericano John Archibald Wheeler: «la materia le dice al espacio-tiempo cómo curvarse, y el espacio-tiempo curvado le dice a la materia cómo moverse». Tal efecto es el que percibimos como la fuerza de atracción gravitatoria. Podemos visualizarlo imaginando que el espacio-tiempo es una inmensa lona extendida horizontalmente. Si en un punto de ella colocamos una piedra, la lona cederá a su peso formando una especie de embudo a su alrededor, tanto más profundo cuanto más pesada sea la piedra. Si ahora dejamos una bola pequeña cerca de la piedra, la bola se desplazará hacia ella como si esta la atrajera.

Lo mismo es aplicable al tiempo (nuestra lona imaginaria no solo representa el espacio, sino el espacio-tiempo), que también se deforma por acción de la materia, de manera que transcurre más lentamente cuando la atracción gravitatoria es mayor (es decir, los relojes van más lentos a nivel del mar que en la cima de una montaña). Aunque tal efecto pasa

generalmente inadvertido, podemos medirlo con los instrumentos adecuados. Es más, hoy no necesitamos ir muy lejos para encontrar un dispositivo que utiliza los efectos de la relatividad especial y general. Se trata del sistema de navegación GPS, de uso cada vez más frecuente en vehículos, teléfonos móviles, etc. Estos dispositivos obtienen su posición a partir de las señales recibidas de un conjunto de satélites que orbitan la Tierra, mediante cálculos que requieren una exactitud extraordinaria en la medición del tiempo. Sin embargo, el tiempo en los satélites difiere del de la superficie de la Tierra debido a dos efectos: 1) por la relatividad especial, la velocidad de los satélites introduce un retraso en sus relojes de unos 7 $\mu\text{s}/\text{día}$, y 2) por la relatividad general, la menor gravedad experimentada a aquella altura provoca un avance de unos 45 $\mu\text{s}/\text{día}$. Considerando ambos factores, antes de poner en órbita los satélites se ajustan sus relojes con un retraso constante de 38 $\mu\text{s}/\text{día}$ (la diferencia entre 45 y 7) para que sus indicaciones coincidan con las nuestras.

³ Einstein consideraba la oficina de patentes como «un claustro en medio del mundo donde incubé mis ideas más hermosas (...) era capaz de hacer todo el trabajo del día en dos o tres horas, y el resto lo dedicaba a trabajar en mis propias ideas».

⁴ Tanto es así que para medir la aceleración soportada por una persona en cierta situación suele utilizarse la unidad G, que equivale a la aceleración producida por la gravedad en la superficie de la Tierra. La aceleración durante la carrera de despegue de un avión comercial suele estar alrededor de 0,4 G.

El universo

En el primer capítulo vimos que Eratóstenes, en el siglo III AEC, había calculado la circunferencia terrestre basándose en la diferencia angular (denominada paralaje) entre las direcciones de los rayos solares en dos lugares de la Tierra separados por cierta distancia. Una variante de este método nos permite calcular la distancia a objetos lejanos. Para ello, imaginemos que montamos dos pequeños telescopios sobre un soporte de manera que ambos estén perfectamente paralelos y a un metro de distancia uno de otro, y que además el telescopio de la derecha puede girar horizontalmente sobre un dispositivo que nos permite medir con precisión el ángulo girado. Movemos el soporte hasta que el telescopio de la izquierda apunte en su centro a cierto objeto lejano del cual queremos medir a qué distancia está. Ahora, sin mover el soporte, giramos únicamente el otro telescopio hasta que quede centrado también en el mismo objeto, y entonces medimos el ángulo girado (la paralaje). Supongamos que el valor observado sea de medio grado sexagesimal (30 minutos de arco). Como ambos telescopios y el objeto lejano forman los tres vértices de un triángulo rectángulo del que conocemos uno de los ángulos ($0^{\circ}30'$) y el lado opuesto (la distancia entre los telescopios, un metro), por trigonometría obtenemos que la

distancia al objeto es
 $1 / \text{sen}(0^{\circ}30') = 114,6$ metros.

Algunas cámaras fotográficas utilizan todavía un sistema similar para determinar la distancia del objeto que se desea enfocar (actualmente la mayoría utiliza un sistema electrónico basado en la maximización del contraste de los contornos de ciertas áreas del fotograma). Para ello, mediante un sistema de prismas, en el centro de la imagen que ve el fotógrafo se superpone otra obtenida desde otro visor situado a cierta distancia del principal. Este visor auxiliar está sincronizado con el anillo de enfoque del objetivo de la cámara de tal modo que cuando el fotógrafo, al girar el anillo, hace coincidir exactamente las dos imágenes, el ajuste de la distancia es el adecuado.

El efecto de la paralaje es algo que podemos observar sin ningún instrumento de manera muy sencilla. Basta situarnos a corta distancia de un poste vertical (como el que sostiene una señal de tráfico) u otro objeto similar, de manera que tras él haya algún edificio u otro fondo relativamente lejano. Si ahora cerramos alternativamente uno y otro ojo, observaremos que el poste nos oculta puntos distintos del edificio, separados entre ellos por cierta distancia. Si repetimos la prueba alejándonos del poste, veremos que la distancia entre ambos disminuye, mientras que si

nos acercamos aumenta (el efecto es más fácilmente apreciable si la fachada del edificio presenta un número suficiente de elementos distribuidos regularmente, como pueden ser ventanas o columnas).

La visión binocular nos ayuda a precisar las distancias a los objetos, algo que resulta muy útil a los animales depredadores para acechar a sus presas. Por esta razón, la mayoría de las especies depredadoras han desarrollado evolutivamente ojos situados en posición frontal, mientras que a las presas, por el contrario, les interesa abarcar el máximo campo de visión para detectar a sus posibles atacantes, y por ello suelen tener los ojos a los lados.

Como es lógico, la aplicación del método de la paralaje para el cálculo de las distancias a las estrellas requiere conocer sus posiciones con una precisión extrema. Los primeros catálogos estelares (desde el de Hiparco en el siglo II AEC, que incluía 850 estrellas, hasta el de Ulugh Beg en el siglo XV con 994) fueron obtenidos a simple vista usando rudimentarios instrumentos, como los astrolabios, los cuadrantes o los sextantes, y ofrecían una precisión de aproximadamente un grado. La mayor exactitud antes de la invención del telescopio la consiguió a finales del siglo XVI Tycho Brahe, quien en su observatorio Uraniborg consiguió determinar la posición de

un millar de estrellas con una precisión de un minuto de arco, pero incluso esta no bastaba para calcular la distancia a ninguna estrella.

Hemos visto que en el cálculo de distancias por el método de la paralaje intervienen dos magnitudes. La primera es la distancia entre los puntos en que se realizan las dos observaciones: cuanto mayor sea, mayores serán también las distancias que podamos medir. La segunda es la diferencia angular que, al ser sumamente pequeña, requiere una gran exactitud en su medición. La revolución científica introdujo dos innovaciones que mejorarían significativamente ambos aspectos:

- El reconocimiento del heliocentrismo sugirió una idea: dado que la Tierra gira alrededor del Sol en 1 año, si efectuamos dos mediciones de la posición de una estrella con 6 meses de diferencia, la distancia entre ambos puntos de observación es del orden de 300 millones de kilómetros.
- La invención del telescopio permitió mejorar extraordinariamente la precisión de las posiciones estelares, y con ellas, los ángulos de paralaje.

El primer astrónomo que publicó un resultado fiable fue el alemán Friedrich Bessel, quien en 1838 midió la paralaje de la estrella 61 Cygni obteniendo un resultado de 0,314 segundos de arco, por lo que

la distancia a la estrella debía ser de unos 10 años luz (actualmente sabemos que 61 Cygni es en realidad un sistema binario, con una paralaje de 0,286 para una de las estrellas y de 0,287 para la otra, por lo que su distancia media es de unos 11,4 años luz). Otros dos astrónomos, el alemán Wilhelm Struve y el inglés Thomas Henderson, habían realizado mediciones de paralaje poco antes que Bessel, pero en el caso de Struve sus primeros datos no fueron considerados fiables, y Henderson no publicó los suyos hasta 1839.

Parémonos un momento para repasar las unidades astronómicas:

- Un año luz equivale a la longitud recorrida por la luz en el vacío en 1 año, o lo que es lo mismo, $9,46 \times 10^{15}$ metros.
- Una unidad astronómica equivale a 149.597.870.700 metros, y es ligeramente menor que la distancia media de la Tierra al Sol.
- Un pársec equivale a la distancia a la cual una unidad astronómica subtiende un ángulo de un segundo de arco (es decir, una estrella a esta distancia tendría una paralaje de un segundo de arco). Equivale a 3,262 años luz.

Los cálculos de paralaje estelar se simplifican midiendo las distancias en pársecs y los ángulos en segundos de arco. Con estas unidades, el cálculo de la distancia

se reduce a la fórmula $d = 1 / p$, siendo d la distancia y p el ángulo de paralaje. Así, por ejemplo, si la paralaje de Próxima Centauri, la estrella más cercana al sistema solar, es de 0,773 segundos de arco, su distancia a la Tierra será de $1 / 0,773 = 1,29$ pársecs (unos 4,2 años luz).

A partir de finales del siglo XIX, la utilización de la fotografía revolucionó la práctica astronómica. Hasta entonces, las mediciones debían efectuarse en tiempo real y la posición de cada astro debía calcularse visualmente usando el retículo del telescopio. En cambio, la fotografía permitía el registro de las observaciones para su posterior estudio detallado, y facilitaba la medición de las posiciones estelares. Además, aumentando el tiempo de exposición podían captarse estrellas mucho más débiles. Ello incrementó el catálogo de estrellas incluidas en el mapa celeste, y permitió que en 1910 se conocieran las distancias a 365 de ellas.

Sin embargo, a mediados del siglo XX se llegó a un punto en el que no era posible continuar aumentando la precisión de las mediciones, debido a los efectos de la atmósfera terrestre y a las deformaciones en los instrumentos producidas por la gravedad y los cambios térmicos. Para evitar ambos problemas, la Agencia Espacial Europea ha desarrollado y puesto en órbita dos observatorios espaciales: el Hipparcos (*High*

Precision Parallax Collecting Satellite)⁵, que operó de 1989 a 1993, y el Gaia (*Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*), lanzado en 2013. Del primero se obtuvo un catálogo de 2,5 millones de estrellas, y del segundo se espera conseguir un mapa tridimensional de 1000 millones de objetos astronómicos de todos tipos.

Midiendo el universo

Los protagonistas de *The Big Bang Theory* también sienten curiosidad acerca de la naturaleza del universo. ¿A qué distancia de la Tierra están los astros? ¿Hacia qué dirección se mueven? ¿Cuál es su composición? La comunidad científica ha hallado algunas respuestas a estas preguntas. Hay un episodio de la serie en el que Sheldon, Leonard, Howard y Raj se proponen calcular la distancia entre la Tierra y la Luna, algo posible con un experimento que es posible hacer con un equipamiento relativamente sencillo y que consiste en apuntar con un láser hacia la Luna y calcular cuánto tarda la luz en volver. Como es habitual en la serie, los guionistas utilizan un personaje nada versado en ciencia que sirve para explicar el proceso a los espectadores con menos conocimientos, y al mismo tiempo para introducir una dosis de

humor gracias al choque entre Sheldon y este personaje.

A menudo este personaje es Penny, pero en esta ocasión lo será su nuevo novio, Zack, introduciendo un elemento de tensión para Leonard, que lógicamente no lleva nada bien ver a la chica con otro. Todos acaban en el tejado del edificio, donde se lleva a cabo el experimento.

– Zack: ¡Whoa! ¿Es ese el láser? Es cojonudo.

– Sheldon: Sí. En 1917, cuando Albert Einstein estableció el fundamento teórico del láser en su obra *Zur Quantentheorie der Strahlung*, su mayor esperanza fue que el dispositivo resultante fuera cojonudo.

– Zack: Bien, misión cumplida.

– Leonard: Déjame explicarte qué estamos haciendo aquí. En 1969, los astronautas del Apolo 11 posicionaron reflectores en la superficie de la Luna, y nosotros vamos a disparar un láser a uno de ellos y dejar que la luz rebote en el fotomultiplicador.

– Penny: ¡Oh! Eso es muy guay.

– Zack: Una pregunta. ¿Cómo pueden estar seguros de que no explotará?

– Leonard: ¿El láser?

– Zack: La Luna.

– Sheldon: Ves, este es un hombre adecuado para Penny.

– Leonard: Es una buena pregunta, Zack.

– Sheldon: No, no lo es.

– Penny: ¡Sheldon! Sé amable.

– Sheldon: No es una gran pregunta. “¿Cómo puede alguien creer que vayamos a hacer explotar la Luna?”, esa sí es una gran pregunta.

– Leonard: No te preocupes por la Luna. Hemos ajustado el láser en modo «aturdir».

– Zack: Inteligente.

– Leonard: Ahora, seremos capaces de ver el rayo cuando sale, pero no será lo suficientemente fuerte cuando regrese para ser visto a simple vista (...) Este dispositivo, allí, medirá los fotones que devuelve y nos permitirá verlos en el ordenador. Raj, dale unas gafas.

– Zack: Genial, ¿será en 3D?

– Howard: Preparando el disparo láser a la Luna.

– Leonard: Que así sea.

– Howard: Ahí está, ha alcanzado el máximo.

– Leonard: 2,5 segundos para que la luz regrese. ¡Es la Luna! ¡Hemos dado a la Luna!

⁵Obviamente, el nombre del proyecto fue elegido para que su acrónimo coincidiera con el nombre del astrónomo Hiparco de Nicea.

- Zack: ¿Esto es vuestro gran experimento? ¿Todo esto para una línea en la pantalla?
- Leonard: Sí, pero, piensa en lo que representa. El hecho de que podamos hacer esto es la única manera de probar definitivamente que hay objetos hechos por el hombre en la Luna, puestos ahí por un miembro de la especie que inventó el avión tan solo 60 años antes.
- Zack: ¿Qué especie es esa?
- Sheldon: Me equivoqué. Penny merece un hombre mejor.

Los personajes de la serie logran con su pequeño experimento calcular a qué distancia se encuentra la Luna de la Tierra. Con procedimientos más elaborados y un equipamiento superior, la comunidad científica ha logrado llegar a diversas conclusiones que nos ayudan a comprender mejor la naturaleza del Universo: que los astros están compuestos de elementos que encontramos en la Tierra, que su movimiento en la mayoría de los casos los está alejando de la Tierra y que el Universo se encuentra en una expansión constante. Estos hallazgos han sido posibles gracias a varios métodos y fenómenos que detallamos a continuación.

Espectroscopia

Aunque el fenómeno de la dispersión de la luz a través de un prisma ya

había sido observado antes de Newton, fue este quien mediante sus experimentos en 1665 demostró que el prisma no coloreaba la luz, sino que la descomponía en los distintos colores del espectro. Para ello, en un primer experimento puso a la salida del prisma una pantalla con una ranura que solo dejaba pasar un color, que luego hacía pasar por un segundo prisma. Si el prisma realmente coloreara la luz entrante, debería observarse también a la salida de este segundo prisma una variación de colores, y sin embargo solo aparecía el mismo color entrante. En un segundo experimento eliminó la pantalla intermedia y puso el segundo prisma boca abajo. La luz que se había dispersado al pasar por el primer prisma se recombinó de nuevo en la luz blanca original.

En el año 1802, el físico y químico inglés William Wollaston observó que cuando hacía pasar la luz solar a través de un prisma y observaba el espectro ampliado detectaba en él unas líneas oscuras. Pero fue el físico industrial alemán Josef von Fraunhofer quien, tras descubrir independientemente el mismo fenómeno en 1814, prosiguió investigándolo. Ideó una nueva técnica que mejoraba la dispersión de la luz (las redes de difracción) y llegó a contar un total de 576 líneas en el espectro solar (que son conocidas como las líneas de Fraunhofer).

Fraunhofer no llegó a conocer la causa de aquellas líneas. Fueron el químico alemán Robert Bunsen y el físico prusiano Gustav Kirchhoff quienes, trabajando conjuntamente en Heidelberg, descubrieron que cuando en una llama hay una sustancia a elevada temperatura aparecen líneas brillantes en frecuencias específicas (correspondientes al tipo de sustancia), mientras que si la sustancia está presente en la llama, pero relativamente fría, produce líneas oscuras en las mismas frecuencias. Ello permitió detectar la presencia en el Sol de algunos elementos, como el sodio, por comparación del espectro de la luz solar con el de la combustión del mismo elemento. De esta manera se llegó a la conclusión de que los elementos que componen los astros se encuentran también en la Tierra.

Las Cefeidas

Las estrellas variables son aquellas cuyo brillo, visto desde la Tierra, varía con el tiempo, una particularidad que permitió calcular la distancia a que se encuentran de nuestro planeta. Los astrónomos ingleses Edward Pigott y John Goodricke estudiaron este tipo de estrellas y descubrieron varias de ellas. Goodricke era sordo a causa de una grave enfermedad que sufrió de pequeño, y tenía una gran habilidad para detectar el brillo de una estrella comparándolo con el de otras. Entre

ambos estudiaron los ciclos de variación de diversos tipos de estrellas variables. Así, por ejemplo, observaron que el brillo de Algol era constante excepto durante cierto tiempo cada 68 horas y 50 minutos, en el que descendía a su valor mínimo. De ello Goodricke dedujo, correctamente, que en realidad se trataba de un par de estrellas de las cuales una era más oscura y giraba alrededor de la otra, eclipsándola cada vez que pasaba por delante de ella.

Observaron en cambio que otras estrellas, como Delta Cephei, muestran una variación de brillo gradual y asimétrica parecida a un diente de sierra con una subida relativamente rápida y un descenso más lento (se las llama Cefeidas por haberse descubierto en la constelación de Cefeo). La razón de este tipo de ciclo es distinta al caso anterior, y la variación de brillo observado no está producida por un efecto externo, sino que es intrínseca, y se debe al dinamismo térmico de la estrella. La mayoría de las estrellas están en un equilibrio estable: la masa tiende a colapsarse en sí misma por la fuerza de la gravedad, pero el intenso calor interno crea una presión hacia el exterior que la contrarresta,

estableciéndose un equilibrio entre ambos efectos. Por el contrario, en las Cefeidas este equilibrio no existe. Cuando la estrella está relativamente fría no puede contrarrestar la fuerza gravitatoria y se contrae; ello comprime el núcleo y se genera más calor, que vuelve a expandir la estrella, lo cual produce una pérdida de energía que vuelve a enfriarla y contraerla.

El Observatorio del Harvard College fue un importante centro astronómico que llevó a cabo un intenso programa de observaciones fotográficas. Llegó a obtener hasta medio millón de placas, cada una de las cuales incluía gran número de estrellas, que debían ser estudiadas detenidamente para establecer la posición, el brillo y el color de cada uno de los astros registrados, y comparar posteriormente estos datos con los de la misma zona del cielo en otras fechas. Cuando Edward Pickering fue nombrado director en 1876, seleccionó un grupo de hombres para llevar a cabo estos trabajos, pero se sentía insatisfecho con los resultados obtenidos. Por aquel entonces tenía empleada en su hogar a Williamina Fleming, una joven de 24 años que había sido abandonada por su marido. Pickering consideró que el

cuidado, el orden y la atención al detalle con que ella atendía la casa eran precisamente las cualidades que necesitaba para el análisis de las fotografías (y además, una mujer cobraba mucho menos que un hombre). La contrató y el resultado fue excelente, hasta el punto de que Fleming diseñó un nuevo sistema de clasificación de las estrellas.

En vista de ello, Pickering fue incorporando mujeres a su equipo, entre las que destacaron Annie Jump Cannon y Henrietta Leavitt, ambas con problemas auditivos⁶. Leavitt fue asignada al estudio de las estrellas variables, y su habilidad y dedicación fueron tales que llegó a descubrir más de 2400, la mitad de todas las conocidas en su tiempo. Se interesó especialmente por las Cefeidas e intentó relacionar los dos datos de que disponía: su periodo y su brillo aparente. Sin embargo, este último dato no es algo intrínseco de la estrella, sino que depende de la distancia de esta a la Tierra, por lo que Leavitt no extraía de ello ningún resultado. Aquello cambió cuando descubrió 25 Cefeidas de la Pequeña Nube de Magallanes. Supuso que, al pertenecer todas ellas a la misma galaxia, su distancia a la Tierra debía ser aproximadamente la misma, por lo que su brillo aparente debía ser

⁶Es curioso observar la coincidencia de que Goodricke, Cannon y Leavitt sufrían sordera. Cabe pensar si la disminución del sentido del oído acentuaba su capacidad visual.

proporcional a su brillo intrínseco. Cuando representó en un gráfico el brillo de la estrella y el período de su fluctuación, comprobó que se ajustaba con bastante aproximación a una línea recta, es decir, que el brillo era proporcional al período⁷.

El descubrimiento de Leavitt permitía conocer la distancia relativa de cualquier Cefeida, puesto que bastaba observar su período para conocer su brillo intrínseco, y al comparar este con el brillo aparente observado se podía calcular la distancia relativa (el brillo aparente disminuye con el cuadrado de la distancia). Ahora solo faltaba conocer la distancia de una de las Cefeidas para saber la de todas las demás. Este dato lo consiguió el astrónomo danés Ejnar Hertzsprung, quien en 1913 calculó la distancia a varias Cefeidas por un método de paralaje estadístico.

La capacidad de conocer la distancia a las Cefeidas sirvió también para cerrar el debate (conocido como «el Gran Debate») existente entre los astrónomos que creían que nuestra galaxia, la Vía Láctea, era la única existente (y que, por tanto, las nebulosas⁸ observadas se encontraban dentro de ella), entre

los que estaba Harlow Shapley, y los que, como Edwin Hubble, afirmaban que las nebulosas eran otras galaxias distintas de la nuestra. En 1923 Hubble, usando el telescopio de 2,54 metros del observatorio del Monte Wilson en Pasadena (California), detectó una Cefeida en la nebulosa de Andrómeda, y comparando su brillo real (calculado a partir de su período) con el brillo aparente calculó que estaba por lo menos diez veces más lejos que cualquier estrella de la Vía Láctea. Hubble comprendió la repercusión que tendría su descubrimiento, por lo que no lo hizo público hasta obtener suficientes pruebas que lo confirmaran. Finalmente lo hizo en febrero de 1924. Con ello se cerraba el Gran Debate, la nebulosa de Andrómeda pasaba a ser la galaxia Andrómeda, y descubríamos que nuestro universo es todavía mucho más grande de lo que creíamos.

El efecto Doppler

El efecto Doppler es el cambio de frecuencia que se percibe cuando el objeto emisor de la onda se mueve con relación al observador. Es el fenómeno que podemos observar al escuchar la sirena de una

ambulancia: cuando el vehículo se acerca a nosotros, el sonido es más agudo que cuando se aleja. Ello se debe a que al aproximarse la ambulancia «comprime» las ondas sonoras, y a una longitud de onda más corta corresponde una frecuencia más alta (las cuerdas más cortas de un instrumento musical producen notas más agudas). Lo inverso sucede cuando la ambulancia se aleja. El mismo fenómeno sucede con las ondas lumínicas, pero dada la inmensamente mayor velocidad de la luz, su efecto resulta imperceptible por nuestros sentidos (60 km/h equivalen a un 5% de la velocidad del sonido, pero representan solo el 0,00005% de la velocidad de la luz).

Los astrónomos William Huggins y su esposa Margaret Lindsay Huggins construyeron un observatorio en Londres en el que, valiéndose de la espectroscopia, estudiaban los elementos existentes en las estrellas, y de ello concluyeron que «en todo el universo existe una misma química». Sin embargo, descubrieron también algo más importante: que la espectroscopia puede utilizarse también para determinar la velocidad relativa de las estrellas.

⁷En el eje vertical figuraba la magnitud de la estrella (una medida logarítmica de su brillo), y en el horizontal, el logaritmo del período especificado en número de días.

⁸Propiamente, una nebulosa es una nube interestelar de polvo y gases, pero anteriormente recibía este nombre cualquier objeto astronómico difuso.

Ya anteriormente se habían detectado variaciones en la posición de algunos astros, pero tan pequeñas que solo eran apreciables después de décadas o incluso siglos. Además, la observación visual únicamente permitía apreciar los movimientos transversales, y no los radiales (de acercamiento o alejamiento). El matrimonio Huggins conocía el efecto Doppler, y pensaron que si alguna estrella se desplazaba radialmente se apreciaría una variación de frecuencia en las líneas de Fraunhofer observadas en el espectroscopio. El desplazamiento debía ser tanto más grande cuanto mayor fuera la velocidad de la estrella, y sería hacia el rojo si la estrella se aleja y hacia el azul si se acerca. Efectivamente, en 1868 consiguieron detectar un

desplazamiento al rojo de un 0,015% en el espectro de la estrella Sirio, lo que les llevó a la conclusión de que se alejaba de la Tierra a unos 46 km/s.

El efecto Doppler es uno de los fenómenos favoritos de Sheldon. De hecho, en una fiesta de disfraces que Penny organiza en su piso, el personaje decide disfrazarse de efecto Doppler, a pesar de que es consciente de que nadie de los presentes va a entender el disfraz. Efectivamente, se pasa la fiesta intentando explicar a los presentes en qué consiste el efecto Doppler, sin tener éxito, mientras Leonard le insiste para que lo olvide y diga que va disfrazado de cebra. Esperamos que nosotros hayamos tenido mejor suerte intentando explicar en qué

consiste. Su importancia se hizo más evidente casi medio siglo más tarde, entre 1912 y 1917, cuando el astrónomo norteamericano Vesto Slipher llevó a cabo la medición de velocidades de 25 galaxias desde el Observatorio Lowell, en Arizona. Cabía esperar que hubiera un número similar de galaxias que se acercaban o que se alejaban, pero en lugar de ello observó 21 desplazamientos al rojo y solo cuatro al azul. Slipher supuso que ello se debía a que «todo nuestro sistema estelar se mueve y nos arrastra con él». Sin embargo, la auténtica explicación llegaría unos años más tarde y representaría un cambio radical en nuestra visión del universo. Lo veremos en el siguiente capítulo, dedicado al Big Bang.