

La astronomía celebra su año internacional



ALFONSO HERNANDO GONZÁLEZ

Guía de
Lectura **10**



Fotografía de la portada tomada desde el observatorio de Padilla de Arriba por Jesús Peláez, miembro de la Asociación Astronómica de Burgos.

La astronomía a través de (algunos) de sus momentos estelares

Hace más de cuatro mil años

YA HABÍA OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS

Hace más de cuatro mil años en Stonehenge, Inglaterra, se levantó una piedra que, desde el centro del conjunto de construcciones megalíticas, marcaba la dirección por donde sale el Sol justo el día del solsticio de verano. Este es uno de los muchos indicios de que este impresionante monumento prehistórico tenía relación con los ciclos astronómicos.

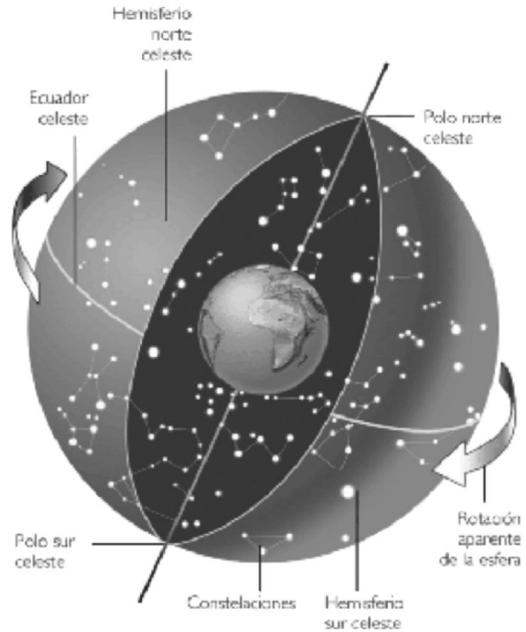
Stonehenge no es un caso aislado, en la arquitectura de todas las épocas (desde las pirámides de Egipto hasta las iglesias cristianas) aparecen disposiciones geométricas que tienen relación con la astronomía. Sin duda, los hombres desde hace muchos siglos han observado con atención los fenómenos astronómicos por muchos motivos. Había razones prácticas como la confección de calendarios que era muy útil para la agricultura. Había razones religiosas, ya que muchas religiones antiguas llenaban los cielos de dioses y leyendas. Además había algo que no ha cambiado apenas: el extraordinario espectáculo del cielo nocturno con sus puntitos brillantes y su enormidad oscura.



Siglo IV antes de nuestra era

LA TIERRA ES REDONDA

Aristóteles no sólo dice que la Tierra es redonda, además se apoya en observaciones astronómicas. Por un lado señala que la posición de las estrellas cambiaba a medida que se iba hacia el norte, lo que hacía pensar que la Tierra era esférica. Además indica que en los eclipses de Luna la sombra de la Tierra siempre tiene forma circular, lo que confirma que es una esfera. Aristóteles da a entender que esta idea estaba ya extendida entre los astrónomos profesionales. A partir de entonces, casi todos los autores antiguos dan como segura la esfericidad de la Tierra.



Su maestro, Platón, ya había defendido la idea de un universo esférico con la Tierra, también esférica, situada en su centro. El prestigio de la teoría geocéntrica iba a durar mucho tiempo. Hoy sabemos que no es correcta, pero se basaba en observaciones razonables. Por un lado tenemos la impresión de que el cielo nocturno es una esfera. Por otro, los astros se mueven describiendo círculos y los cuerpos celestes conocidos parecían esferas. Además, la misma Tierra tenía esa forma. Lo más "natural" era suponer que la Tierra estaba inmóvil en el centro de ese universo esférico.

Siglo III antes de nuestra era

ERATÓSTENES MIDE EL TAMAÑO DE LA TIERRA

Eratóstenes hizo algo que en principio parece sencillo: observar la sombra del Sol desde dos ciudades diferentes. De este modo podía deducir el ángulo que formaba el Sol en esos dos lugares con el horizonte, y también la diferencia entre estos ángulos que era de unos 7

grados. Siguiendo un paso más, como se sabía que la Tierra es esférica, se podía calcular su tamaño a partir de la distancia entre las dos ciudades. Esa distancia era de unos 5000 estadios (que son más o menos 800 kilómetros). Haciendo una regla de tres, resulta que, si a 7 grados le corresponden 800 km., a toda la circunferencia (o sea, 360 grados) le corresponderán más o menos 40.000 kilómetros que es aproximadamente lo que mide un círculo máximo sobre la Tierra. Dicho así parece fácil, pero si lo miramos con más detalle cambiaremos de opinión: una ciudad tenía que estar exactamente al norte de la otra, había que buscar una forma sencilla y fiable de hacer las medidas al mismo tiempo. Por otro lado, el resultado se basaba en una serie de hipótesis (que el Sol está muy lejos, que la Tierra es esférica, etc.) que ponen de manifiesto el alto nivel de la ciencia antigua. Finalmente había que medir la distancia real entre dos ciudades lo que resultaba sin duda muy complicado. Pese a todas las dificultades, el resultado final fue bastante exacto. Desde entonces los astrónomos se las han arreglado para ir midiendo distancias cada vez mayores en lugares cada vez más lejanos.

Siglo III antes de nuestra era

EL PRIMER SISTEMA HELIOCÉNTRICO

Aristarco afirma que la Tierra da vueltas alrededor del Sol. Aunque se conserva algún texto de este astrónomo, se ha perdido la obra en la que exponía sus ideas heliocéntricas. Sólo quedan algunas referencias muy breves que indican que su teoría fue conocida y, sobre todo, rechazada, ya que chocaba con las ideas dominantes. Por eso no es de extrañar que no tuviera apenas seguidores (Sólo se conoce el caso de un astrónomo babilónico, Seleuco, que apoyó esta hipótesis), mientras que la mayoría de los textos astronómicos ni siquiera mencionan su obra.

Siglo II antes de nuestra era

HIPARCO ELABORA UN CATÁLOGO ESTELAR

Hiparco hizo un mapa en el que aparecían las posiciones de muchas estrellas, también calculó la distancia de la Tierra a la Luna con bastante exactitud y trató de hacer lo mismo con la distancia al Sol, aunque no lo consiguió (hoy sabemos que con los instrumentos con

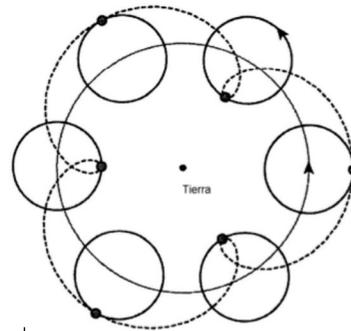
los que contaba es imposible). Además descubrió lo que hoy se llama movimiento de precesión. Este movimiento es muy lento, teniendo un periodo de 26.000 años, así que sólo pudo descubrirse utilizando observaciones a lo largo de mucho tiempo. Por eso se sabe que la astronomía griega, e Hiparco en particular, se benefició mucho de las observaciones hechas por los astrónomos babilónicos.

Siglo II de nuestra era

UN MUNDO HECHO DE ESFERAS

Ptolomeo elabora un tratado en el que expone toda la astronomía de su época, partiendo de que la Tierra está en reposo en el centro del universo. Como consecuencia, interpreta los movimientos de los planetas como una mezcla de dos (véase figura): el movimiento sobre el deferente (que hoy sabemos que corresponde al movimiento del planeta alrededor del Sol) y el movimiento sobre el epiciclo (que corresponde al movimiento de la Tierra alrededor del Sol).

Aunque la interpretación no era correcta, consigue determinar las características de las órbitas con una precisión muy notable. De hecho, da la mejor aproximación posible utilizando sólo círculos (cosa que no suele señalarse). La astronomía antigua suponía que cada planeta se movía en un conjunto de esferas que producían finalmente el movimiento que se observaba. Para estudiar esos movimientos se utilizaban unas tablas cuya elaboración fue una auténtica proeza. Desde entonces, la astronomía siempre ha avanzado sobre las mismas bases: ingenio, paciencia y esfuerzo.



Este diagrama indica cómo se ve el movimiento de un planeta desde la Tierra. La complicación se debe a que es la suma de dos movimientos: el del planeta y el de la propia Tierra que también se mueve alrededor del Sol.

El círculo grande (que corresponde a la órbita del planeta alrededor del Sol), se interpretaba en la antigüedad como el deferente. El círculo pequeño corresponde al movimiento de la Tierra alrededor del Sol, su centro se va moviendo sobre el círculo grande. El planeta se mueve sobre el epiciclo, obteniéndose la trayectoria complicada (línea de trazos) en la que aparecen los típicos bucles característicos del movimiento de los planetas.

Al no ser las órbitas exactamente circulares el movimiento es algo más complicado, pero el esquema sigue siendo el mismo.

1054

ASTRÓNOMOS CHINOS OBSERVAN UNA SUPERNOVA

En el año 1054 tuvo lugar un acontecimiento espectacular. Apareció una estrella nueva en el firmamento y se mantuvo ahí durante varias semanas, hasta que su brillo empezó a disminuir, para finalmente hacerse invisible. Novecientos años más tarde se identificó a la Nebulosa del Cangrejo como los restos de la explosión observada en el año 1054. Los astrónomos chinos llamaban a estas estrellas que aparecían de cuando en cuando "estrellas invitadas". No hay constancia de que en Europa se estudiase este fenómeno. En cualquier caso, entonces la Europa cristiana tenía un nivel científico muy inferior al de China, y también, como ahora veremos, al de la cultura árabe.



Nebulosa del cangrejo

1252

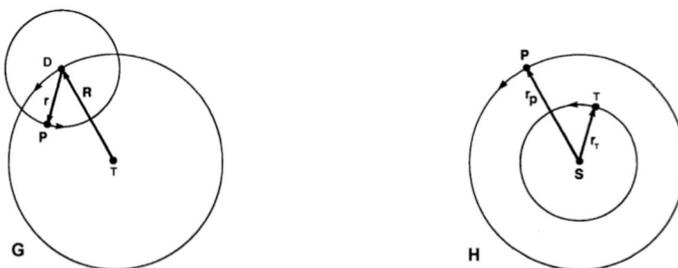
ES LA FECHA DE REFERENCIA PARA EL CÁLCULO EN LAS TABLAS ALFONSÍES

Durante los primeros siglos de la Edad Media, la cultura árabe preservó el legado clásico y, en particular, su astronomía que, además, mejoró en varios aspectos. A partir del siglo XII Toledo fue muy importante porque muchas obras se tradujeron allí y pudieron ser conocidas en la atrasada Europa. También en esta ciudad se realizaron las tablas alfonsíes a partir de otras elaboradas por los árabes y fueron calculadas por astrónomos judíos que trabajaban para el rey cristiano Alfonso X. La ciencia no entiende de razas y suele ser cosmopolita. Estas tablas también pasaron al resto de Europa y fueron muy utilizadas durante varios siglos, además en ellas se tomaba el de Toledo como meridiano cero. Hoy en día el meridiano cero es el de Greenwich que es donde estuvo durante mucho tiempo el observatorio más importante de Inglaterra.

1543

LA TIERRA GIRA ALREDEDOR DEL SOL

Copérnico, poco antes de morir, publica un libro en el que se da una exposición técnica y detallada del sistema astronómico. En términos generales sigue usando los instrumentos



GEOCENTRISMO Y HELIOCENTRISMO

Para poderlo ver mejor suponemos que las órbitas son circulares, lo que es una buena aproximación. En el modelo geocéntrico (G) interpretamos que la Tierra, T, está fija, y que un punto D se mueve alrededor de T con movimiento circular (este círculo es el deferente). Sobre ese punto se mueve el planeta con movimiento circular, describiendo el epiciclo. Como consecuencia se observa que el planeta está en P.

El modelo heliocéntrico (H) explica las cosas de otro modo. El Sol, S, está fijo. La Tierra, T, se mueve con un movimiento circular de radio r_t . Cualquier otro planeta hace exactamente lo mismo, moviéndose en su órbita circular, pero ahora con radio r_p . De todos modos, en los dos modelos se ve desde la Tierra el planeta, P, en la misma dirección. O sea, los dos modelos conducen a lo mismo. Sin embargo, el modelo geocéntrico tenía que introducir hipótesis auxiliares, mientras que el sistema heliocéntrico explicaba todas las características de los movimientos de una sola vez. Además, a medida que se iba aumentando el conocimiento de los movimientos celestes, todos los datos tendían a confirmar el heliocentrismo.

teóricos de Ptolomeo: movimientos circulares y uniformes, incorporando también las mejoras realizadas por los astrónomos árabes. Sin embargo, introduce una novedad fundamental: Todos los planetas, incluida la Tierra, giran alrededor del Sol.

La hipótesis heliocéntrica servía para explicar de una manera mucho más sencilla los movimientos celestes, obteniéndose además un sistema mucho más homogéneo. El sistema de Ptolomeo tenía que hacer una serie de suposiciones más o menos complicadas para explicar los movimientos de los planetas, mientras que Copérnico deducía todos los fenómenos con la única hipótesis de que el Sol estaba en el centro.

1609

GALILEO MIRA A LOS CIELOS CON UN TELESCOPIO

Galileo fabrica telescopios (no es el primero) y los utiliza para estudiar los astros. A lo largo de los años siguientes da a conocer una gran cantidad de descubrimientos gracias al nuevo

instrumento: los cráteres de la Luna, los cuatro satélites de Júpiter que hoy se conocen como satélites galileanos, las manchas solares, las fases de Venus (similares a las de la Luna) y el hallazgo de que la Vía Láctea está compuesta por numerosas estrellas (hasta entonces no se conocía su estructura). Galileo, que es un copernicano convencido, utiliza estos descubrimientos para apoyar la idea de que la Tierra es un planeta más que gira alrededor del Sol, y para atacar la idea aristotélica de que los cuerpos celestes eran perfectos e inmutables.

1609

LAS ÓRBITAS NO SON CÍRCULOS

Kepler completa su estudio sobre la órbita de Marte. Para su análisis utiliza los datos de Tycho Brahe que había conseguido una precisión superior a la de todos los astrónomos anteriores. Después de un trabajo de varios años, descarta definitivamente el uso de circunferencias al darse cuenta de que la órbita de Marte no puede ser descrita así. De este modo acaba con la hegemonía del círculo que había durado dos mil años. Después de muchos tanteos y de mucho trabajo, llegó a la solución exacta: las órbitas son elipses (primera ley de Kepler). Kepler también publicó el mismo año otra ley que dice que los planetas van más deprisa cuando están más cerca del Sol y más despacio cuando están más lejos (esto es lo que se conoce como ley de las áreas).

Años más tarde Kepler descubrió su tercera ley que relaciona el radio de las órbitas de los planetas con el tiempo que tardan en recorrerla.

1687

LA LEY DE LA GRAVITACIÓN

Este año Newton publica un libro importantísimo que comienza con el enunciado de sus leyes de la dinámica (que, desde entonces, se conocen como leyes de Newton). Además también aparece su ley de la gravitación: Dos cuerpos se atraen con una fuerza que es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.

A partir de esta ley consigue deducir las leyes de Kepler. No sólo consigue hallar la órbita de los planetas, también puede calcular el peso de los cuerpos en la Tierra, la órbita de la Luna

(y la de los demás satélites) y explicar las mareas. De este modo consigue dar una descripción de todos los fenómenos astronómicos conocidos en su tiempo. Todavía hay más, su teoría permitía predecir cuál iba a ser la posición futura de un cuerpo (por lo menos en casos sencillos), lo que era un avance extraordinario.

1774

MESSIER PUBLICA SU PRIMER CATÁLOGO DE OBJETOS “RAROS”

Messier era un astrónomo interesado en la búsqueda de cometas. Un cometa, incluso cuando es poco brillante, se distingue bien de una estrella; pero se puede confundir con otros objetos tales como nebulosas, cúmulos, etc.; ya que todos ellos tienen el aspecto (sobre todo con los telescopios de la época) de zonas nebulosas. Messier tuvo la idea de hacer un catálogo con todos los objetos de este tipo para evitar confusiones. La primera edición es de 1774 y después fue ampliándose con la ayuda de otros astrónomos. Actualmente el catálogo Messier consta de 110 objetos. Posteriormente se han ido elaborando otros catálogos que contienen muchos más objetos. El catálogo Messier sigue siendo muy popular entre los astrónomos aficionados ya que contiene los objetos más espectaculares que se pueden observar con telescopios pequeños.

Hasta la llegada del telescopio sólo había un tipo de objetos fuera del sistema solar: las estrellas. Messier con su catálogo abre la puerta a la sistematización de esos otros objetos que han sido enormemente importantes en la historia de la astronomía. Veamos algunos ejemplos.

M1 es la Nebulosa del Cangrejo. Esta nebulosa es precisamente la huella de la explosión de la supernova que fue registrada por los astrónomos chinos en 1054.

M31 es la Galaxia de Andrómeda, una galaxia separada de la nuestra. Es el objeto más distante que se puede observar a simple vista (luego hablaremos más de ella).

M42 es la Nebulosa de Orión. También se puede ver a simple vista. Es una gran zona de gas en la que se supone que se están formando estrellas.

En este catálogo hay numerosos cúmulos de estrellas, o sea zonas en las que hay muchas estrellas. Un ejemplo muy conocido es el de las Pléyades, un cúmulo abierto visible a simple vista.

1781

SE DESCUBRE UN NUEVO PLANETA

Wilhelm Herschell, un músico aficionado a la astronomía, había conseguido fabricar telescopios muy potentes, y tras mucho tiempo de observación había hecho un descubrimiento inesperado: detectó un objeto extraño que, al final, resultó ser un nuevo planeta: Urano. Los astrónomos durante siglos habían estudiado los planetas que se ven a simple vista:



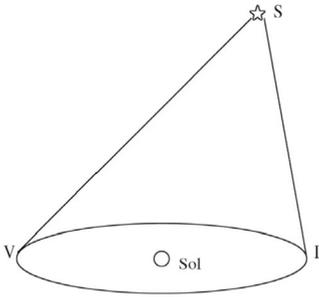
Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, y nunca se había descubierto uno nuevo. De hecho lo que sí se descubría de vez en cuando eran nuevos cometas, pero el descubrimiento de Herschell era espectacular.

En el siglo siguiente se descubriría Neptuno, y en 1930 se descubrió Plutón al que, últimamente, por ser pequeñito, le han quitado los astrónomos de la lista de planetas. Además, a partir de 1800 se irían descubriendo asteroides que son cuerpos menores que los planetas que están entre Marte y Júpiter.

1825

EL APOGEO DE LA FÍSICA NEWTONIANA

Laplace termina en este año la publicación de su monumental *Mecánica Celeste*. En ella se recogen y se estudian los movimientos de los cuerpos celestes conocidos. En todos los casos se había conseguido deducir los fenómenos observados a partir de las leyes de Newton gracias al trabajo, entre otros, de Clairaut, d'Alembert, Euler, Gauss, Lagrange y el propio Laplace. En general, aunque la teoría de Newton es sencilla, su aplicación suele ser complicada y fue necesario mucho trabajo y esfuerzo para encontrar soluciones, por eso los científicos estaban tan orgullosos de sus logros, y así seguirían durante todo el siglo XIX, pensando que la física newtoniana era la verdadera y definitiva. Claro que (como veremos) todo lo bueno se acaba.



1838

SE MIDE LA DISTANCIA A ALGUNAS ESTRELLAS

Una estrella se ve con un ángulo cuando la Tierra está en V, y con otro distinto al cabo de seis meses cuando está en I. Eso es lo que permite medir la distancia a la estrella S. En realidad las estrellas siempre están muy lejos y la diferencia de ángulo es muy pequeña.

En torno a esa fecha se consiguió algo que se buscaba desde los tiempos de Galileo: medir efectivamente la distancia a algunas estrellas. Se usa para ello la técnica de paralaje. Es lo mismo que hace el topógrafo para hallar la distancia a un punto lejano: mide como varía el ángulo con el que se ve ese punto desde dos lugares conocidos y de esta forma estima la distancia. En el caso de la Tierra, lo que se hace es observar la posición de una estrella en un momento, y al cabo de seis meses. La diferencia de ángulo que se aprecie sirve para calcular la distancia. Aunque el

diámetro de la órbita de la Tierra es de unos 300 millones de kilómetros, las distancias estelares son mucho mayores, por lo que hizo

falta instrumentos bastante potentes para medir esas primeras paralajes. De hecho, la estrella más cercana (alfa centauri) está a unos 40 billones de kilómetros. O sea, más de 100.000 veces el tamaño de la órbita de la Tierra. Para las distancias a las estrellas se suele usar como medida el año luz, que es la distancia que recorre la luz en un año. Alfa centauri está a más de cuatro años luz, o sea, su luz tarda en llegar a la Tierra más de cuatro años. ¡Y eso que es la vecina más próxima! Hoy en día, gracias a esta técnica, se puede llegar a conocer la distancia de estrellas que están a varios miles de años luz.

1859

SE PUEDE ESTUDIAR LA COMPOSICIÓN DE LAS ESTRELLAS

Todos sabemos que, cuando hacemos pasar la luz por un prisma, obtenemos un arco iris. Ahora bien, no todos los tipos de luz producen el mismo arco iris, o la misma descomposición de la luz. Precisamente el arco iris característico de cada tipo de luz, si se estudia con detalle, es lo que se llama el espectro. En 1814 Fraunhofer había observado que el espectro solar tenía líneas oscuras. A partir de 1859 Kirchoff y Bunsen se dan cuenta de que cada elemento químico tenía unas líneas oscuras diferentes, que son algo así como la huella digital del

elemento. Utilizando esta idea se puede conocer la composición química de la sustancia que emite la luz. Y, claro, también se puede conocer la composición del Sol y de las estrellas utilizando su luz. Como curiosidad se puede añadir que el elemento helio fue descubierto primero en el Sol, por eso se le puso ese nombre (ya que Helios es el nombre griego del Sol), y sólo después se detectó en la Tierra.

1912

UN GRAN DESCUBRIMIENTO HECHO POR UNA MUJER

Henrietta Leavitt formaba parte de un grupo de mujeres, a las que se llamaba “calculadoras”, que se encargaban en Harvard de labores mecánicas y aburridas (la astronomía siempre ha necesitado mucho trabajo rutinario). Las calculadoras estaban muy mal pagadas y no se reconocía su trabajo. A pesar de eso, Leavitt estudió con detalle un tipo de estrellas que no siempre brillan lo mismo, encontrando una relación entre su brillo total y el periodo de variación. A primera vista esto parece un descubrimiento menor, pero, en realidad, permite algo que siempre andan buscando los astrónomos: medir distancias. Precisamente el descubrimiento de Leavitt permitió el establecimiento de lo que se llama la escala Cefeida (el tipo de estrellas que estaba estudiando). Hubble (del que hablaremos en seguida) fue uno de los que se beneficiaron de su trabajo.

1919

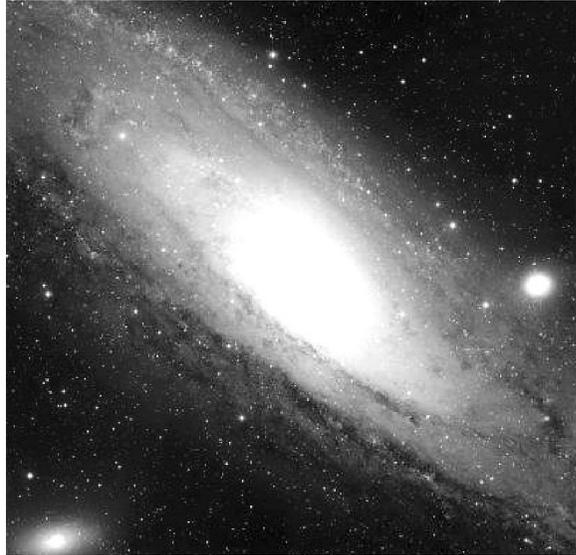
UN ECLIPSE DA LA RAZÓN A EINSTEIN

La teoría de la relatividad general de Einstein de 1915 predecía que los rayos de luz se tenían que desviar de su trayectoria al pasar cerca del Sol, para comprobarlo era necesario esperar a un eclipse de Sol, porque, en otro caso, es imposible ver una estrella en su proximidad. En 1919 Eddington organizó dos expediciones para observar esta posible desviación en un eclipse. El resultado confirmó la teoría de Einstein y le convirtió en el científico más famoso del siglo XX y seguramente de la historia. Los resultados mostraban que la teoría newtoniana, que había sido durante más de dos siglos uno de los pilares de la física, no era válida, por lo menos cuando los campos gravitatorios son muy intensos.

1923

ANDRÓMEDA ES UNA GALAXIA SEPARADA DE LA VÍA LÁCTEA

Hasta la segunda década del siglo XX no se conocía con certeza más que una galaxia: la nuestra, o sea la Vía Láctea, que hoy sabemos que tiene un diámetro de unos 100.000 años luz. Aunque había varias nebulosas que algunos pensaban que eran galaxias separadas, lo cierto es que no había una seguridad total ya que los instrumentos disponibles no permitían estudiar su estructura con detalle. Finalmente, la entrada en funcionamiento en 1917 de un potente telescopio en el



Galaxia de Andrómeda

Monte Wilson hizo que se comprobara que la nebulosa de Andrómeda era en realidad un enjambre de estrellas. Posteriormente, en 1923, Hubble estudió con mayor detalle su estructura y la distancia a la que se encuentra (más de dos millones de años luz). Se supone que Andrómeda es una galaxia bastante similar a la nuestra. Poco a poco se fue descubriendo que nuestra galaxia no era sino una entre muchas más. Actualmente se ha estimado que la distancia a algunas es de algunos miles de millones de años luz.

1930

EL UNIVERSO SE EXPANDE

En torno a 1930 Hubble llega a la conclusión de que todas las galaxias (exceptuando las más cercanas) se alejan; además cuanto más lejos están más rápido se separan de nosotros. Es fácil concluir que el universo se está expandiendo.

El sistema usado para mostrarlo era bastante sencillo. Cuando se acerca un tren o un coche el ruido que hace nos parece más agudo que el que produce cuando se aleja. Es lo que se conoce como efecto Doppler. Es razonable, al acercarnos las ondas llegan más juntas (o sea, parecen más agudas), mientras que al alejarnos ocurre lo contrario. Con la luz pasa lo mismo. Por eso analizando el espectro de una estrella o una galaxia, se puede averiguar si ese objeto se acerca o se aleja.

1965

LA TEORÍA DEL BIG BANG SE CONSOLIDA

La astronomía siempre ha usado la luz visible como su materia prima, pero en el siglo XX empezó a usar también la luz no visible como, por ejemplo, las ondas de radio o las emisiones de rayos X que nos llegan del espacio. En 1965 Penzias y Wilson, que estaban estudiando este tipo de radiaciones, descubren algo sorprendente: el universo está impregnado de una radiación prácticamente homogénea en todo el espacio, es lo que se conoce como radiación de fondo de microondas. Lógicamente, no podemos verla, pero sí detectarla con ayuda de un receptor adecuado. Los astrónomos, después de la sorpresa inicial, comprendieron la importancia de su descubrimiento, ya que suponía un apoyo para la teoría del Big Bang. Esta radiación fósil es una de las cosas más antiguas que se pueden encontrar en el universo, porque se piensa que se originó poco después del Big Bang, hace más de 13.000 millones de años.

1990

SE PONE UN TELESCOPIO EN ÓRBITA

A lo largo de la historia se han ido mejorando los telescopios. El dato fundamental para conocer la potencia de un telescopio es el diámetro de su espejo (o de su lente). Durante mucho tiempo el famoso telescopio de Monte Palomar fue el más potente con sus cinco metros de diámetro. Desde hace bastantes años hay telescopios mayores todavía. Sin embargo, siempre quedaba el problema de que la atmósfera perturba la luz, así que en 1990 se lanzó un telescopio óptico al espacio, el Hubble, que consiguió obtener una precisión inalcanzable en la Tierra. Actualmente también hay instrumentos en órbita que permiten el estudio de las radiaciones no visibles sin que nos estorbe la atmósfera.

De los trabajos y las noches

LA DISTANCIA AL SOL Y LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL

La distancia Tierra Sol tiene mucha importancia en astronomía y se toma como referencia para muchas otras. Edmund Halley sabía que un procedimiento muy bueno para medirla con precisión era hacer observaciones cuando Venus pasara justo por delante del disco solar (a este fenómeno se le llama tránsito). Para eso además era conveniente hacer diferentes medidas desde puntos de la Tierra cuanto más alejados mejor. Claro que había un pequeño detalle que dificultaba las cosas. Halley comprobó en 1716 que los siguientes tránsitos serían en 1761 y en 1769. No hacía falta ser muy pesimista para comprender que él no podría observarlos (¡en 1761 Halley habría cumplido 105 años!), por lo que envió a la Royal Society la forma de proceder para realizar la medida, de modo que, llegado el momento, pudiera hacerse.

Sus deseos se hicieron realidad, en 1761 se observó el tránsito por más de 120 astrónomos, entre ellos algunos españoles, en muchos lugares diferentes. El tránsito de 1769 fue observado por todavía más científicos, y se hizo un viaje a los mares del Sur para observar el fenómeno desde la isla de Tahití. El análisis de los datos dio lugar a varias estimaciones, hasta que en 1835 se hizo un pormenorizado análisis de todos los datos disponibles por el Observatorio de Berlín, que dio un valor bastante bueno de la distancia al Sol (153,45 millones de kilómetros), aunque un poco por encima del valor real.

Para finales del siglo XIX, después de otros dos tránsitos, el valor obtenido de la distancia al Sol fue de 148.528.000 kilómetros. Un resultado excelente con un error de menos del 1%. Posteriormente, en 1931 se aprovechó la cercanía de un asteroide (Eros) para medir su paralaje con gran precisión. También se organizó una observación con colaboración internacional y, lo que no había sido posible antes, con uso de miles de fotografías. El dato que se obtuvo para la distancia al Sol estaba un poco por debajo del valor de 150 millones de kilómetros y ya tenía una enorme precisión. Esta precisión todavía se ha aumentado algo

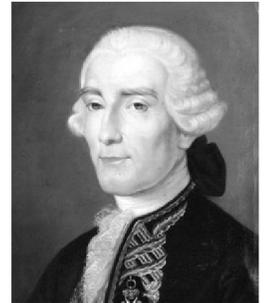
más con los métodos actuales que permiten el envío de ondas cuyo eco es recibido de nuevo tras chocar contra el objeto seleccionado.

Hoy se puede consultar el valor de la distancia Tierra Sol en cualquier libro (la Wikipedia da un valor de 149.597.870 km) y parece un número sin importancia, pero su establecimiento supuso un gran esfuerzo colectivo y la puesta en práctica de un sueño: los científicos de todo el mundo trabajando para una causa común.

NOTA: Lógicamente, cuando hablamos de distancia al Sol, nos referimos a distancia media, ya que la órbita, como ya se ha dicho, no es una circunferencia, sino una elipse, y la distancia cambia algo a lo largo del año.

LOS CIENTÍFICOS ESPAÑOLES Y LA FORMA DE LA TIERRA

Aunque desde la Antigüedad Clásica se sabía que la Tierra era aproximadamente una esfera, en el siglo XVIII se planteó el siguiente problema: Por un lado, una de las consecuencias de las teorías de Newton era que la Tierra tenía que ser una esfera algo achatada por los polos. Por otro, las ideas de Descartes predecían que la situación tenía que ser la contraria: la Tierra tenía que estar achatada por el ecuador. La diferencia entre ambos valores se sabía que no podía ser grande. Aunque algunas estimaciones apuntaban a que Descartes podía tener razón, la situación era confusa. Para resolver el problema, Maupertuis organizó en 1735 dos expediciones para hacer medidas precisas. Una iría a un lugar lo más cercano al polo posible, mientras que otra se acercaría al ecuador. En la primera iba el propio Maupertuis que regresó con sus datos en 1737. Como en esos momentos las zonas de América cercanas al ecuador estaban bajo la corona española, se decidió que fuera una expedición española al Perú a hacer las correspondientes medidas. Aunque estaban dirigidas por franceses, la parte técnica fue dirigida por un joven guardamarina español: Jorge Juan. También participó en la expedición Antonio de Ulloa, los dos son sin duda representantes del alto nivel científico de los marinos españoles del XVIII, así como de los intentos de introducir la Ilustración en nuestro país.



Jorge Juan

Los datos de la expedición del Perú no llegaron hasta 1741. Sus resultados confirmaban los de la expedición de Maupertuis y de otras observaciones un poco posteriores: la Tierra está achatada por los polos. Newton estaba en lo cierto y la teoría de Descartes fue abandonada. Estos resultados supusieron un importante apoyo a la teoría de la gravitación de Newton que hasta entonces tenía pocos apoyos en Francia.

Lo que nos dice la ciencia actual sobre el universo

¿POR QUÉ BRILLAN LAS ESTRELLAS?

Desde hace miles de años sabemos que las estrellas brillan. En el siglo XIX además se formuló el principio de conservación de energía y también se estimó la energía emitida por el Sol. Como consecuencia apareció un serio problema: ¿De dónde podía salir tanta energía?

A mediados del siglo XIX no se conocía ningún mecanismo capaz de producir esa cantidad, incluso si el Sol fuera un gigantesco homo de carbón era imposible producir durante tanto tiempo tanta energía (para entonces ya se sabía que la Tierra tenía una edad de millones de años). A finales del siglo XIX el descubrimiento de la radiactividad puso en la pista de que podía haber fuentes de energía mucho más potentes. Unos años después, en 1905, Einstein, desde un punto de vista teórico, enunció su famosa ley: (La E es la energía, la m es la masa, y c es la velocidad de la luz). Como la velocidad de la luz, c , es muy grande, la fórmula nos dice que, si se consigue transformar masa en energía, se obtendrá una cantidad fantástica de energía. Eso es precisamente lo que se consiguió de dos maneras: rompiendo núcleos de átomos (energía de fisión) o uniéndolos (energía de fusión). En ambos procesos se pierde algo de masa que se convierte en la enorme cantidad de energía que



se produce en la explosión de una bomba atómica (que corresponde al caso de la fisión de un átomo grande, normalmente uranio o plutonio), o en el de una bomba de hidrógeno que es todavía mayor (en este caso varios átomos de hidrógeno se fusionan, o sea, se unen). Pues bien, justamente este último mecanismo la fusión de átomos de hidrógeno es lo que hace que brillen las estrellas. Es decir, el Sol y todas las estrellas son enormes calderas en las que se “quema” hidrógeno y se produce helio (que tiene un núcleo con una masa que es aproximadamente cuatro veces la del hidrógeno).

LA VIDA DE LAS ESTRELLAS

a) Los inicios y su vida adulta

Se puede decir que las estrellas, al igual que los humanos, tienen una vida. El nacimiento se produce cuando una nube de gas se va condensando debido a la gravedad, aumentando su temperatura y su presión hasta que empieza a ser posible la fusión de sus átomos de hidrógeno. Al cabo de cierto tiempo (que se mide en millones de años) empieza la parte “normal” de la vida de la estrella. En esta fase se equilibra la energía que se produce por la fusión, que tiende a expandir la estrella, con la de la gravitación, que tiende a contraerla. Así se mantiene pacíficamente durante un tiempo de varios miles de millones de años. La mayor parte de las estrellas que vemos están en esa fase. Nuestro Sol, que tiene una edad de unos 4.600 millones de años, lleva mucho tiempo en esa fase y parece que seguirá en ella algunos miles de millones de años más.

b) Una vejez muy complicada

Pero todo se acaba, aunque sea al cabo de miles de millones de años. Así que llega un momento en el que empieza a escasear el hidrógeno, entonces hay que empezar a utilizar otros elementos que en general dan menos energía y son menos abundantes, hasta que llega un momento en el que la estrella no genera suficiente energía para equilibrar el campo gravitatorio y empieza la última fase de la vida de la estrella, que es la más accidentada.

Simplificando se puede decir que la gravedad hace que toda la materia se vaya hacia el centro en poco tiempo, lo que a su vez produce una gran cantidad de energía que hace que se expulse hacia fuera parte de su materia. De esta manera las estrellas llegan a la fase de gigante roja. Estas estrellas son enormes, pudiendo llegar a tener un radio mayor que el de la órbita terrestre.

c) Las supernovas

Dependiendo del tamaño y de las características de la estrella, la fase final puede ser todavía más aparatosa. En general cuanto más masa tiene una estrella más “explosivo” es su final. Las supernovas son el caso más extremo. Corresponde a estrellas muy masivas que explotan de modo tan violento que se multiplica su brillo por un factor que puede ser de varios millones (es lo que ocurrió con la estrella que observaron los chinos en 1054). En tiempos un poco posteriores ha habido otras dos supernovas en nuestra galaxia, la supernova de Tycho (de 1573) y la de Kepler (de 1604). No deja de ser una curiosidad que dos de los astrónomos más grandes de todos los tiempos tuvieran la suerte de observar un fenómeno de esta naturaleza. Además fueron importantes porque la aparición de una “estrella nueva” contradecía la idea aristotélica de que los cielos eran inmutables y, por tanto, facilitaba el camino hacia la nueva ciencia.

Aunque no han aparecido nuevas supernovas en nuestra galaxia, los astrónomos las observan rutinariamente en otras (gracias a su enorme brillo). En 1987 se observó una supernova en una galaxia cercana, una de las llamadas nubes de Magallanes, lo que permitió estudiar mejor su complicadísima física.

NOTA: Hay dos tipos de supernovas, uno de ellos, como ya hemos dicho, es debido a estrellas con mucha masa que hace que al final de su vida su colapso produzca ese fenómeno. Otro caso es el de estrellas binarias, una de las cuales “chupa” materia de la otra por gravitación hasta que su masa se hace tan grande que se contrae por su campo gravitatorio y se acaba produciendo una supernova. Ambos tipos son similares pero tienen algunas diferencias que hacen que los astrónomos puedan distinguirlos.

d) El final del espectáculo

Al final de la fase tormentosa llega un momento en el que las capas exteriores se van perdiendo, mientras que en el centro queda un objeto bastante pequeño, pero muy denso y brillante. Si la masa que queda en el centro no es muy grande, la estrella acabará convertida en enana blanca que llega a tener una densidad del orden de millones de veces la del agua. Si la masa que queda es algo mayor que la del Sol, entonces lo que queda es todavía más extraño y más denso: una estrella de neutrones. Por ejemplo en el centro de la nebulosa del Cangrejo (o sea, lo que queda de la supernova de los chinos de 1054) hay una estrella de neutrones de unos 30 kilómetros de radio, pero con una masa que es mayor que la del Sol.

Las estrellas de neutrones suelen girar muy rápidamente. Debido a sus campos magnéticos emiten grandes cantidades de rayos X en una dirección y sólo en esa. Al dar vueltas la estrella

cambia esa dirección, si en algún momento la Tierra está en la dirección de la emisión se puede detectar. El resultado es igual al de un faro que gira: sólo lo vemos una vez cada giro completo. Lo mismo ocurre con estas estrellas que por eso se llaman púlsares, porque su radiación llega en pulsos regulares.

Si creen que no puede haber nada más raro sigan leyendo.

LOS AGUJEROS NEGROS

Todos sabemos que si lanzamos una piedra hacia arriba al cabo de poco tiempo cae al suelo. Si la lanzamos con mayor velocidad tardará más en caer, y si lanzamos un cohete con suficiente velocidad puede salir del campo gravitatorio de la Tierra. El Sol tiene un campo gravitatorio más intenso y por eso habría que dar más velocidad a un objeto para que escape de su campo gravitatorio.

Por otro lado, de acuerdo con la teoría de la relatividad, la velocidad máxima que puede alcanzar un cuerpo es la de la luz. Pues bien, un agujero negro es un lugar en el que hay tanta masa que se produce un campo gravitatorio que no deja escapar ni siquiera la luz. Es decir, cualquier cosa que pase cerca quedará engullida para siempre en ese misterioso lugar. Se denominan negros porque no podrían emitir ningún tipo de radiación. Este tipo de objetos fue estudiado entre otros por el famoso científico Stephen Hawking.

Los astrónomos conjeturaron que algunas estrellas muy masivas podían dejar, tras producir fenómenos tipo supernova, un objeto central que fuera un agujero negro y efectivamente hay algunos objetos astronómicos que pueden corresponder a ese fenómeno. Sin embargo, en los últimos años se ha observado que en los centros de muchas galaxias (incluida la nuestra) hay una zona que seguramente sea un agujero negro. Aunque puede parecer paradójico, estos objetos aparecen como extraordinariamente brillantes. La razón es la siguiente: la materia que está cerca de un agujero negro está sometida a unas fuerzas tan intensas que dan lugar a fenómenos que producen mucha energía. La energía generada se emite como radiación de varios tipos que aparece alrededor del agujero lo que hace que sea muy brillante.

SOMOS POLVO DE ESTRELLAS

Aunque muchas personas no lo sepan, una gran parte de los átomos que componen nuestro cuerpo (y la mayoría de los objetos cotidianos) han tenido que estar antes en el interior de una

estrella. La razón está en que después del Big Bang sólo se pudieron producir dos elementos: el hidrógeno y el helio; no dándose las circunstancias adecuadas para producir átomos más pesados, de modo que éstos se han tenido que formar en las estrellas, sobre todo en las muy masivas, dónde sí es posible su formación. Algunos de estos átomos pesados fueron arrojados al espacio en la explosión de supernovas, y acabaron apareciendo en la nube que formó el Sistema Solar. Por eso, sabemos que el nuestro es un sistema de “segunda generación”, y que la mayoría de nuestros átomos se formaron en alguna estrella hace muchos miles de millones de años.

EL PASADO Y EL FUTURO DEL UNIVERSO

Ya hemos aludido a la teoría del Big Bang que es la aceptada actualmente. En efecto, sabemos que el universo se está expandiendo, de donde se deduce que en el pasado estaba más apretujado. Si seguimos hacia atrás, forzosamente llegamos a un momento (una singularidad, como dicen los físicos) en el que todo estaba concentrado en un espacio mínimo. Ese momento, el comienzo de todo, en el que empezó la expansión del universo actual se conoce como Big Bang. Los astrónomos calculan que ocurrió hace aproximadamente 13700 millones de años.

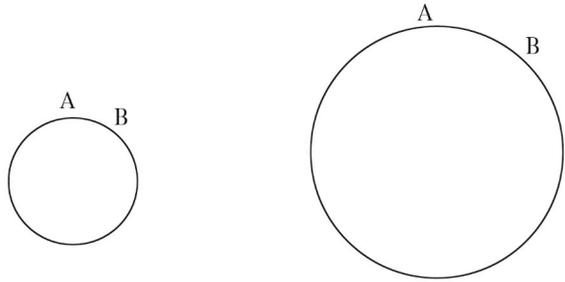
De acuerdo con las últimas estimaciones, parece que la expansión del universo se está acelerando, eso indica que, probablemente, el universo seguirá expandiéndose indefinidamente. De todos modos, hay muchos aspectos del comportamiento del universo a gran escala de los que no se tiene una explicación satisfactoria.

Podría pensarse, no obstante, en la posibilidad de que la fase expansiva termine un día, tras lo cual el universo empezará a contraerse hasta llegar al Big Crunch (algo así como el gran apachurramiento).

BIG BANG, UNA EXPRESIÓN ENGAÑOSA

Como señala el físico Michiu Kaku la expresión Big Bang es desafortunada. Le ocurre como a Villaverde del Monte que ni es villa ni es verde ni tiene monte. En efecto, grande, o sea, big, no parece que fuera, porque se supone que entonces todo el universo era muy pero que muy chiquitajo (aunque con mucha masa). Por otro lado lo de la explosión, o sea, bang, tampoco es correcto, porque en una explosión la masa sale hacia el espacio, pero, en este caso, se supone que lo que se estaba creando era el propio espacio. Por raro que suene, eso

es lo que resulta de las teorías actuales. Para intentar comprenderlo, podemos imaginar que el universo entero es algo así como la superficie de un globo que vamos hinchando. A medida que se hincha la superficie aumenta, lo que hace que dos puntos cualesquiera tiendan a separarse. El universo de la física moderna es algo semejante, claro que es difícil de visualizar porque en vez de una superficie de dos dimensiones tendríamos, por lo menos, un universo con tres. En realidad habría que añadir el tiempo y, en algunas teorías, otras pocas dimensiones. Aunque a las personas corrientes y molientes esto nos parezca ininteligible, los físicos se las arreglan para manejar estas ideas con su sofisticada matemática.



De acuerdo con la teoría del Big Bang el universo es parecido a la superficie de un globo que se infla, a medida que se hincha aumenta la superficie y la distancia entre dos puntos A y B también aumenta. Algo parecido ocurre con las galaxias que se alejan, la razón está en que el espacio entre ellas (igual que la superficie del globo) se está expandiendo.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA TEORÍA DEL BIG BANG EN LA CIENCIA ACTUAL?

El hecho de que sepamos que el universo se está expandiendo y que, hace mucho tiempo, estuvo concentrado en un espacio muy muy pequeño es sin duda importante. Sin embargo, a continuación veremos que hay razones que hacen que la teoría del Big Bang sea todavía más fundamental para la física moderna.

A lo largo del siglo pasado la ciencia ha ido estudiando cada vez mejor la física de lo muy pequeño. Gracias a eso se sabe que en la naturaleza hay solamente cuatro fuerzas fundamentales que actúan sobre las partículas elementales. Además poco a poco se ha ido pensando que, en realidad, aunque esas cuatro fuerzas son diferentes, tienen una estructura profunda que es común a todas. La pregunta que surge es: ¿Por qué nos "parece" que son distintas, si en el "fondo" son muy parecidas?

Pues bien, la teoría del Big Bang da una respuesta muy sugerente. A medida que nos acercamos al instante "cero", la temperatura y la energía crecen de modo que todas las fuerzas tienden a estar unificadas. De este modo se puede decir, al menos así les parece a

los físicos, que el universo primitivo tenía unas leyes muy sencillas que se fueron complicando a medida que se enfriaba y, para usar una expresión de la física, se “rompía la simetría”, dando lugar al universo actual con unas leyes más complicadas.

Por eso actualmente los astrónomos, los físicos teóricos y los cosmólogos trabajan juntos para tratar de establecer esa teoría unificada. Sin embargo, para decirlo todo, no parece que sea nada fácil, ya que hay algunas cosas que no terminan de encajar pese a los esfuerzos de muchos científicos.

Naturalmente, no podemos saber cómo evolucionará la física, pero hay algo que está bastante claro: La investigación de la relación entre lo muy grande (el universo) y lo muy pequeño (la física de partículas) seguirá siendo uno de los objetivos centrales de la ciencia durante mucho tiempo.

NOTA (para los que quieran algo más de información)

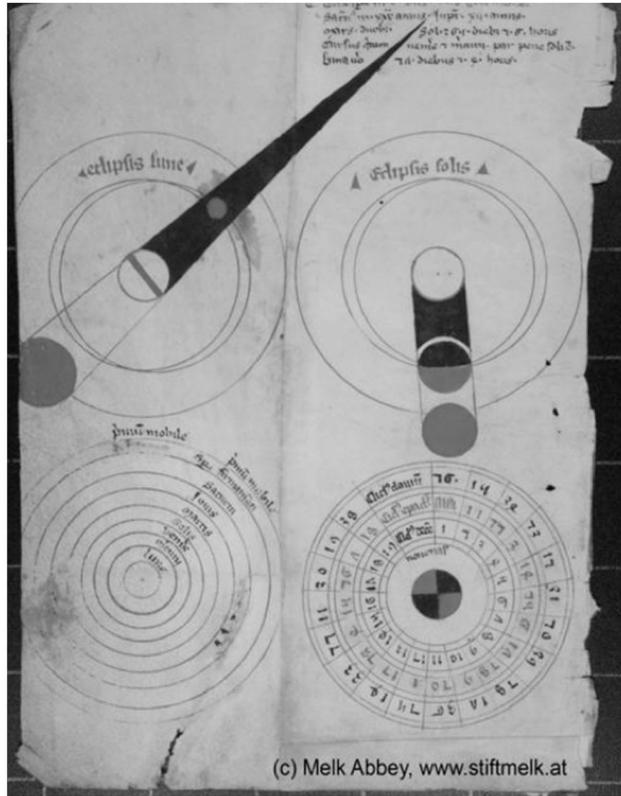
Las cuatro fuerzas o campos son el gravitatorio, el electromagnético, la fuerza nuclear débil y la fuerte. Desde hace bastantes años hay una teoría satisfactoria que unifica la fuerza electromagnética y la débil. La teoría que unifica estas dos con la fuerza nuclear fuerte es algo posterior. Pero hasta el momento no se ha encontrado ninguna teoría que unifique todas. En otras palabras, la fuerza de la gravedad (que es la más débil de todas y la que fue primero estudiada) no se ha podido unificar con el resto.

Aunque aquí hablemos de fuerzas o campos, desde el punto de vista de la física moderna es más correcto decir que cada una de estas interacciones se debe al intercambio de una o varias partículas. En realidad, la mecánica cuántica postula que todos los objetos físicos están constituidos por partículas. Básicamente hay dos tipos de partícula, con uno se forma la materia normal (los átomos, por ejemplo) y el otro tipo sirve para que aparezcan las fuerzas que se observan. Sin embargo, no hay que pensar en una partícula como en una bolita diminuta o algo parecido. No, eso sería demasiado fácil, la física lo que hace es asociar a cada partícula una onda que mide la probabilidad de que la partícula (por ejemplo, un electrón) se encuentre en ese lugar en ese momento en el caso de que se haga una medida.

LA ENERGÍA

El concepto de energía no sólo es uno de los más importantes de la física, también es muy útil para entender las ideas modernas sobre el comienzo de nuestro universo. Un principio fundamental de la física, al que ya hemos aludido, es el de la conservación de la energía. En particular, la energía del universo se mantiene constante. Por eso, a medida que nos acercamos hacia el momento del Big Bang, vamos también a un universo cada vez pequeño, y, por tanto, con una densidad de energía mayor que también corresponde a una temperatura mayor. Ahora

bien, hay procesos que necesitan más energía y otros menos, por eso hay fenómenos que han tenido lugar en una época cercana al Big Bang y luego han dejado de ocurrir. Ocorre algo parecido con una persona que tiene mucho dinero y lo va gastando. Al principio se puede comprar el coche que quiera. Sin embargo, al cabo de un cierto tiempo, va quedándose con menos dinero, pero todavía puede comprar un coche pequeño. Como sigue perdiendo dinero, un poco después sólo puede comprarse una moto. Si esperamos un poco más



sólo le da para una bicicleta, y al final tiene que ir andando. Con nuestro universo pasa lo mismo: al principio todo era derroche, pero ahora la economía está más ajustada.

Veamos un ejemplo. La materia normal está compuesta de átomos, que, a su vez, se componen de un núcleo con unas partículas (protones y neutrones) y una zona exterior en la que están los electrones. Si suministramos suficiente energía a los electrones, pueden salir fuera del átomo. Eso es lo que ocurría en las primeras fases del universo: la energía era tan alta que los electrones no formaban átomos, ya que siempre había energía suficiente para arrancarlos de los núcleos. Sin embargo, al cabo de unos cientos de miles de años la energía disminuyó y ya no era posible este proceso. Así que los electrones quedaban “atrapados” por sus átomos. Eso hizo que la luz (que está compuesta de fotones) dejara de estar siempre interaccionando con los electrones, y empezó a recorrer libremente el universo. Precisamente el eco de ese fenómeno es el fondo de microondas que se encontró en 1965.

Historia (abreviada) de todo

(Según el modelo Standard)

Desde el instante 0 a 10^{-43} segundos después del Big Bang

La energía es tan grande que se piensa que todas las fuerzas tenían que estar unificadas. Sin embargo, no hay una teoría satisfactoria sobre esta "primera" fotografía del universo.

De 10^{-43} a 10^{-12} segundos después del Big Bang

Se van separando todas las fuerzas, hasta llegar a las cuatro conocidas.

En algún momento se produce un mecanismo que hace que en el universo actual haya materia. En principio lo que predice la teoría es que por cada partícula de materia normal haya otra partícula de antimateria (la antipartícula tiene las mismas características y carga eléctrica opuesta). El problema está en que si eso fuera exacto cada partícula se aniquilaría con su antipartícula dando lugar a un fotón (una onda de luz). Lo cierto es que en el universo hay una asimetría que permite que haya un poco de materia de más, gracias a eso existen los objetos, los libros, Internet y nosotros mismos.

También se supone que en esta fase hay un periodo en el que el universo se expansionó muy rápidamente (fase inflacionaria). Esta teoría se introdujo para explicar algunas características geométricas del universo.

De 10^{-6} a 1 segundo después del Big Bang

Protones y neutrones empiezan a ser estables (antes se desintegraban y se formaban de nuevo constantemente). Un poco después, entre 1 y 10 segundos, el número de electrones también se estabiliza.

De nuevo la energía es la clave para entender este fenómeno, así como otros muchos del universo primitivo. Aplicando la fórmula de Einstein, para producir una partícula hace falta una

suficiente. En cambio, mucho después en la zona central de las estrellas masivas sí será posible su formación, gracias a la fusión, o sea, a la unión de núcleos más pequeños.

Unos 380.000 años después del Big Bang

La temperatura baja lo suficiente para que sea posible la formación de átomos estables con sus electrones alrededor de los núcleos, tal y como hemos explicado en el apartado anterior. Ahora ya podemos empezar a ver átomos normales y corrientes.

Unos mil millones de años después del Big Bang

Para entonces ya se han formado las primeras estrellas y galaxias. En el centro de alguna de ellas especialmente masivas, al cabo de cierto tiempo, se "cocinaron" los átomos de carbono, oxígeno, etc. que forman el papel de esta guía. Una explosión que produjo una supernova los dejó vagando por el espacio interestelar.

Hace unos 4.600 millones de años

Fue entonces cuando se condensó la nube de materia que produjo el sistema solar. Algunos de esos átomos de los que acabamos de hablar quedaron en la zona en la que se formó el planeta que hoy habitamos.

Unos 13.700 millones de años después del Big Bang

En la biblioteca de una pequeña ciudad de un pequeño país de un pequeño planeta que da vueltas alrededor de una pequeña estrella que está dentro de una de entre las innumerables galaxias se edita una guía de lectura que acabas de leer. ¡Vaya casualidad!

ALFONSO HERNANDO GONZÁLEZ (Burgos 1959) es Doctor en Ciencias Físicas y profesor de Matemáticas, tiene numerosas publicaciones relacionadas con la Historia de la Ciencia, habiendo sido premiado en convocatorias nacionales dos de sus trabajos (en 2001 y 2006). También ha publicado un libro de relatos, *Cuentos del otro lado*. Próximamente publicará con motivo del año internacional de la astronomía un libro para el público infantil. **AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA.**

Bibliografía

Infantil

- Firth, Rachel. *Astronomía*. Londres: Usborne, 2004. I-52 FIR ast
- Harris, Nicholas. *El espacio: el libro que se puede leer en la oscuridad*. Madrid: Bruño, 2006. I-52 HAR esp
- Banqueri, Eduardo. *El cielo*. Barcelona: Parramón, 2006. I-52 BAN cie
- Dyer, A. *El espacio*. 2ª ed. Barcelona: Molino, 2008. I-524 DYE esp
- Dr. Genio. *Diario del universo*. Madrid: SM, 2004. I-524 GEN dia
- Kessler, Paula; et al. *Baby Galileo: descubriendo el cielo* [Videodisco]. (Music & sound design, Bill Weisbach, classical music composed by Wolfgang Amadeus Mozart; et al). Barcelona: (distrib.) Essential Minds, 2004. I-DVD 37 bab
- *Mango Plumo: viaja por el espacio* [CD-Rom]. Madrid: Micronet, 2002. I-MM 793 MAN

Juvenil

- Stott, Carole y Twist, Clint. *1001 datos sobre el espacio*. Barcelona: Molino, 2002. JOVEN 52 STO mil
- Tola, José. *Atlas de astronomía*. Barcelona: Parramón, 2001. JOVEN 52 TOL atl
- Sparrow, Giles. *Guía turística del sistema solar*. Madrid: Akal, 2007. JOVEN 523 SPA gui
- Martin, Paul; et al. *Los porqués de la astronomía: las respuestas del Dr. Quesí y el Dr. Quenó...* Boadilla del Monte (Madrid): SM, 2006. JOVEN 52 POR
- *El mundo de la astronomía*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica, 2005. JOVEN 52 MUN
- Kindersley, Dorling. *Enciclopedia del espacio y el universo* [CD-Rom]. Barcelona: Play & Learn Multimedia, 2008. JOVEN MM 523 ENC

Adultos

- *A hombros de gigantes: las grandes obras de la física y la astronomía*. Edición comentada de Stephen Hawking. Barcelona: Crítica, 2003. 25 AHO
- Dunlop, Store. *Atlas del cielo nocturno*. Madrid: Akal, 2007. 52 DUN atl
- Lacroux, Jean; y Legrand, Christian. *Descubrir la luna: más de 300 localizaciones lunares*. Barcelona: Spes, 2004. 523 LAC des
- Ridpath, Ian. *Diccionario de Astronomía*. Madrid: Editorial Complutense, 2004. 52 RID dic
- Ridpath, Ian. *Guía celeste mensual*. Ilustrada por Wil Tirion; traducción de Dulcinea Otero Piñeiro. 6ª ed. Madrid: Cambridge University Press, 2003. 524 RID gui
- Henarejos, Philippe; Blanchard, Guillaume; Dauvergne, Jean-Luc. *Guía de astronomía*. Ilustraciones, Lionel Bret . Madrid: Akal, 2008. 52 HEN gui
- Couper, Heather; y Henbest, Nigel. *Historia de la astronomía*. Prólogo de Arthur C. Clarke; traducción de Isabel Febrián. Barcelona: Paidós Ibérica, 2008. 52 COU his
- Cotardière, Philippe de la. *Observar los eclipses: de sol y de luna*. Traducción, Evarista García Peña. Barcelona: Spes, 2005. 52 COT obs
- Covington, Michael A. *Telescopios modernos para aficionados*. Traducción de Dulcinea Otero-Piñeiro. Madrid: Akal, 2005. 52 COV tel
- Arranz García, Pedro. *Guía de campo de las constelaciones*. Madrid: Equipo Sirius, 2004. 52 ARR gui
- Knight, Christofer; y Lomas, Robert. *Soñadores del diluvio: la prehistoria de la astronomía*. Traducido por José Miguel Parra Ortiz . Madrid: Oberon, 2001. 52 KNI soñ
- Hathaway, Nancy. *El universo para curiosos*. Traducción castellana de Antonio Desmonts; revisión de Javier García Sanz. Barcelona: Crítica, D.L. 2007. 524 HAT uni
- MacDonald, Lee. *Cómo observar el sol de forma segura*. Traducción de María del Carmen Nicolás Alba. Tres Cantos (Madrid): Akal, 2006. 523 MAC com
- *Astronomía* [CD-Rom]. Jefe de proyecto y programación, Juan M. Naváez; desarrollo, diseño, documentación y soporte, ENYCE. Madrid: F & G, 1996. MM 52 AST

Hemeroteca

- *Tribuna de astronomía y universo*. Madrid : Equipo Sirius, julio 1999- . ISSN 0213-5892. Es continuación de: *Tribuna de astronomía, revista de astronomía, astrofísica y ciencias afines*.



Junta de Castilla y León

Biblioteca Pública de Burgos
C/ Valladolid, 3
<http://bibliotecaspublicas.es/burgos/index.jsp>

Depósito Legal: BU-337-2009

LIBROS • DISCOS • REVISTAS • DVD • VÍDEOS • CD-ROM