

Evolución estelar

Los cuerpos celestes están en evolución, y desde luego, las estrellas no son la excepción. Estos cuerpos celestes, que no son más que soles vistos a grandes distancias, poseen masas muy variadas: los hay cientos de veces más masivos que el Sol y de hasta una sexta parte de su masa. Puesto que las estrellas son el principal objeto de estudio de la astronomía, explicar su origen es un problema de gran actualidad y central para la astrofísica. Nunca se ha observado directamente el nacimiento de estos astros, se piensa que se forman dentro de las partes más densas de las nubes interestelares, que por ser opacas impiden observarlo directamente.

1. Formación estelar

El espacio que está entre los cuerpos celestes no está vacío, sino que está permeado por gas y polvo. Las densidades de la materia interestelar son muy bajas comparadas con la de la atmósfera. Existen zonas en donde la densidad es mayor que la del medio interestelar promedio y la temperatura es particularmente baja, -263 C, llamadas nubes moleculares. Se piensa que en el interior de las nubes moleculares nacen las estrellas nuevas.

Las nubes moleculares están en equilibrio, es decir la fuerza gravitacional es exactamente igual a la de la presión interior, por consiguiente la nube está autogravitante, la fuerza que tiende a que se colapse está equilibrada por la turbulencia interna. Pero si por alguna razón la fuerza gravitacional aumenta sustancialmente en alguna región de la nube, ésta empezará a capturar más y más gas y polvo, y aumen-

tará de tamaño y densidad, se romperá el equilibrio y la región densa de la nube aumentará de masa. Si la cantidad de materia aglutinada es lo suficientemente grande para que la temperatura en el centro llegue a varios millones de grados, de tal manera que se inicien las reacciones nucleares, nacerá una estrella.

La razón por la cual la materia que "cae" se calienta es que la energía gravitacional de la nube se convierte en energía térmica cuando ésta se contrae. Podemos comprobarlo fácilmente; si amarramos una piedra a un hilo y la dejamos caer dejando que el hilo se deslice entre nuestro pulgar y nuestro índice, nuestros dedos se calentarán, y habremos comprobado de esta manera que la energía gravitacional se convirtió en calorífica.

Como las estrellas nacen dentro de las nubes moleculares, cuando están recién formadas se encuentran rodeadas de material que sobró de su creación y no las logramos observar. De hecho nunca se ha observado la contracción de alguna nube molecular para dar lugar a una estrella.

La estrella recién formada, además, de radiar energía luminosa, produce un viento estelar de partículas. Dado que es una esfera de gas incandescente, se está evaporando, y arroja gases al espacio circundante, en todas direcciones. Poco a poco el viento estelar empieza a "limpiar" a los gases que rodean a la estrella hasta que logramos observarla. El polvo caliente emite radiación en el infrarrojo, así que se observa en regiones cercanas a estrellas muy jóvenes, rodeadas del polvo que sobró de su formación, al que están calentando: a estos

objetos se les conoce como "capullos estelares".

Algunas veces la nube de la cual se moldea la estrella nueva tiene forma de disco. Cuando la estrella nace en su centro es más fácil que el viento estelar y la radiación emerjan de la nube en dirección perpendicular al disco; en estas ocasiones se producen los flujos bipolares, es decir chorros de partículas y luz que salen en direcciones opuestas de un disco opaco. Varios astrónomos mexicanos, como J. Cantó, S. Lizano, J. Franco y L. F. Rodríguez los estudian, tanto teórica como observacionalmente.

2. Evolución estelar dependiente de la masa

La vida subsecuente de la estrella recién nacida dependerá de su masa inicial. Las estrellas más masivas queman rápidamente su combustible y viven muy poco, en cambio las poco masivas y pequeñas lo queman despacio y tienen una evolución varias decenas de miles de veces más larga.

a) Estrellas poco masivas

No se conoce a ciencia cierta cuánto es la masa mínima que debe tener una estrella para encenderse. Por ejemplo, aunque la Tierra es un cuerpo celeste, que al igual que estos astros se formó a partir de una nube molecular, no es una estrella porque la temperatura en su centro no es lo suficientemente elevada como para que se produzcan reacciones nucleares. (La temperatura del centro de la Tierra es de 10 000 grados, en

cambio la del Sol es de 15 millones de grados.) Sin embargo, es posible que Júpiter haya sido una estrella que ya agotó su combustible y que sólo estuvo "encendida" algunos millones de años. Se piensa que Júpiter fue estrella porque Io, su satélite más cercano, no tiene una gruesa capa de hielo como la que poseen los satélites más alejados. Es posible que Júpiter haya producido una cantidad apreciable de energía como para destruir los hielos de Io. Los astros parecidos a Júpiter se conocen como estrelluelas o estrellas enanas café y todavía no se estudian con gran detalle, ni siquiera se tiene la seguridad de que existan.

Las estrellas pequeñas se forman como las demás, dentro de nubes de gas y de polvo; esta etapa dura algunos miles de años. Su evolución subsecuente es lenta, unos cien mil millones de años. Como el resto de las estrellas su fuente de energía es la transformación de hidrógeno en helio. Cuando agotan su combustible se enfrían pausadamente hasta convertirse en cuerpos sin luz propia. Su vida promedio es de unos 20 000 millones de años.

b) Estrellas enanas café

Para emitir luz, una estrella requiere de una masa mínima por debajo de la cual no logra realizar reacciones termo-nucleares y por consiguiente no se enciende.

Como comentamos, Júpiter, por ejemplo, que es 80 veces menos masivo que el Sol, está justamente en la frontera entre ser un planeta y una estrella; su presión y temperatura centrales no son lo suficientemente elevadas para seguir desencadenando reacciones nucleares que lo harían brillar.

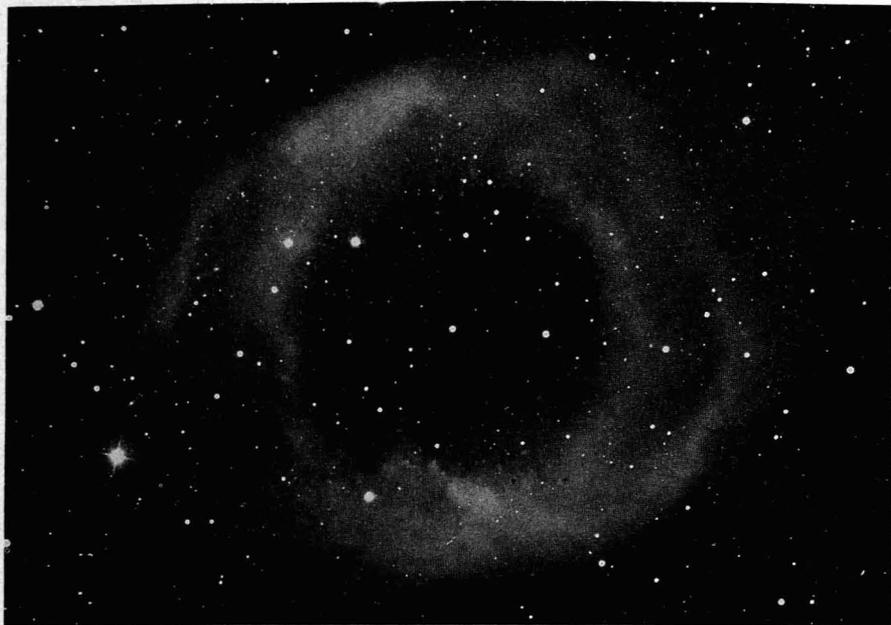
Cuando se realizan conteos estelares se encuentra que existen muy pocas estrellas masivas y muchas poco masivas: hay cientos de estrellas de la masa del Sol por cada estrella muy masiva. Asimismo, existen cientos de estrellas menos masivas que el Sol por cada una como nuestro astro. De continuar esta tendencia se esperaría que hubiera miles de cuerpos parecidos a Júpiter por cada Sol y cientos de miles del tamaño de la Luna; pero desde luego que estos cuerpos no son brillantes y por consiguiente son muy difíciles de detectar.

c) Estrellas con masa cercana a la del Sol

Las estrellas con masa intermedia, como el Sol, también nacen en el interior de nubes moleculares. Sus existencias son de unos diez mil millones de años. El Sol ha vivido más o menos la mitad de la suya. Este grupo de astros es muy interesante porque algunos de ellos nacen dentro de los discos que mencionábamos en la sección anterior, y es precisamente dentro de estos discos en donde se forman los planetas. Estudios teóricos recientes realizados en Japón parecen indicar que si estos discos rotan muy lentamente se formará una estrella rodeada de anillos, similares a los de Saturno; si el disco rota despacio el material que lo forma se condensará en polvos cada vez mayores, los polvos se aglutinarán para formar rocas, las rocas chocarán y se irán pegando unas con otras y de esta manera irán creciendo más y más hasta formar planetas. Si la velocidad de rotación del disco es elevada se integrará un sistema doble (de hecho la mitad de las estrellas son binarias).

La teoría que hasta el momento





d) Estrellas de masa elevada

Al igual que el resto de las estrellas, las que poseen mucha materia se forman en el interior de nubes de gas y de polvo. Cuando nacen tienen temperaturas tan elevadas y vientos estelares tan fuertes que rápidamente calientan y dispersan la envoltura gaseosa que les dio origen. La radiación ultravioleta de las estrellas calienta al gas circundante, aunque esté a grandes distancias, lo ioniza y lo hace brillar. Las nubes de gas interestelar brillante que se muestran en los libros de astronomía, como la nebulosa de Orión, son gas ionizado por estrellas masivas recién nacidas.

Debido a su gran masa, la temperatura de estas estrellas es muy alta, ya que la enorme presión en su interior facilita las reacciones nucleares. Estas estrellas llamadas gigantes azules viven muy poco tiempo en comparación con las demás ya que rápidamente agotan su combustible. Una estrella gigante azul vive solamente un millón de años, que realmente es muy poco comparado con los cien mil millones de años que vivirá el Sol. Existen algunos mosquitos que viven cien mil veces menos que nosotros, sólo unos cuantos minutos. Cabe señalar que hace un millón de años apenas si aparecieron los hombres primitivos en la Tierra.

e) Supernovas

Las estrellas masivas terminan su existencia con un estallamiento violento, en que arrojan al espacio la mayor parte de la materia que las constituye. La parte interior de la estrella puede implotar y formar un agujero negro o una estrella de neutrones. Durante la explosión de una supernova se sintetizan los elementos químicos más pesados, que al integrarse al medio interestelar, formarán más tarde las nuevas generaciones de estrellas. Una de estas explosiones genera tanta energía como todas las estrellas de una galaxia juntas.

En el año de 1054 los chinos registraron la explosión de una estrella supernova que fue tan brillante que incluso se veía de día. A principios de 1987 explotó otra en una galaxia cercana. Fue la primera supernova brillante visi-

parece explicar mejor la formación del sistema Solar, supone que el Sol se moldeó dentro de una nube molecular y que los planetas nacieron por la aglomeración del material sobrante del disco. Todo parece indicar que el Sol se encendió antes de que se formaran los planetas, por consiguiente todos los materiales volátiles cercanos al Sol se evaporaron en las primeras etapas de su vida, y en consecuencia los planetas cercanos al Sol carecen casi completamente de este tipo de sustancias. Por ejemplo la composición química del Sol y la de Saturno son muy parecidas: ambos cuerpos son enormes esferas gaseosas, 90% de las cuales son gas hidrógeno. En cambio Mercurio, Venus y la Tierra son más bien grandes rocas carentes de las sustancias volátiles que deben haber existido en la nube que les dio origen.

Como mencionamos con anterioridad, las estrellas brillan debido a que en su núcleo se llevan a cabo reacciones nucleares, durante las cuales se transforman núcleos de hidrógeno en núcleos de helio. Los núcleos de helio tienen menos masa que los de hidrógeno que los formaron, el excedente de masa se transforma en energía de acuerdo a la relación: $E=mc^2$, donde E es la energía, m es la masa y c es la velocidad de la luz. Como esta última es muy grande basta un pequeño excedente de masa para que se libere gran cantidad de energía.

Cuando una estrella de masa similar a la del Sol agota su hidrógeno en el núcleo, empieza a fusionarse el helio y a producir elementos más pesados como el carbono, el nitrógeno y el oxígeno. Al hacer esto se libera mayor cantidad de energía que cuando se quema el hidrógeno, como consecuencia la estrella se hincha y se convierte en una estrella gigante roja.

Poco tiempo después de que las estrellas de masas similares a las del Sol se convierten en gigantes rojas oscilan y lanzan al espacio sus atmósferas extendidas convirtiéndose en "nebulosas planetarias". Las nebulosas planetarias son las envolturas gaseosas y brillantes que rodean a un núcleo estelar pequeño y caliente, también conocido como estrella enana blanca. Las nebulosas planetarias llevan este nombre debido a que cuando se observaban a través de los telescopios del siglo XVIII parecían discos verdes brillantes parecidos a Urano y Neptuno; ahora conservan este nombre por razones históricas.

Al final de su evolución una estrella parecida al Sol será un núcleo estelar rodeado por una envoltura que se irá expandiendo e incorporando lentamente al medio interplanetario, a una velocidad de 20 kilómetros por segundo (la Tierra rota alrededor del Sol a 30 kilómetros cada segundo). La estrella enana blanca se enfriará hasta convertirse en una enana negra y en este estado permanecerá siempre.

ble a simple vista desde la que observó Kepler en 1604.

El 23 de febrero de 1987, mientras dormíamos plácidamente, 300 millones de neutrinos atravesaron nuestro cuerpo. Los neutrinos provinieron de la explosión de la estrella supergigante azul llamada Sanduleak -69 202, perteneciente a una de las galaxias satélites de la galaxia a la que pertenece el Sol: La Nube Mayor de Magallanes.

La Nube Mayor de Magallanes está a unos 160,000 años luz de distancia, es decir que en realidad la explosión de la supernova 1987A sucedió hace 160,000 años (durante la edad de piedra) y apenas ahora nos está llegando su señal en forma de neutrinos y de luz.

A raíz de la explosión de una supernova se puede iniciar la formación de nuevas estrellas. Debido a que una explosión arroja materia violentamente al espacio, ésta puede comprimir alguna nube molecular vecina y dar inicio a la formación de una nueva generación de estrellas. Es decir, el nacimiento de un grupo de estrellas masivas induce a la formación de nuevos astros al ayudar a la contracción de la nube que los moldea. Las capas externas de la estrella que estalla como supernova son expulsadas al espacio a velocidades de 1000 a 10 000 kilómetros por segundo. Antes y durante la explosión genera todos los elementos más pesados que el hidrógeno, los cuales son lanzados al medio interestelar modificando la composición química del mismo.

En algunas galaxias cercanas, se han observado grupos de estrellas que forman estructuras anulares. Esto se podría explicar suponiendo que una generación de estrellas nace en el centro de una nube y la compresión subsecuente del material se da en forma radial produciendo los anillos estelares observados desde la Tierra. En cada galaxia espiral ocurre una explosión de supernova aproximadamente cada cien años.

Las explosiones de supernova se utilizan para calibrar las distancias a las galaxias lejanas, pues si se supone que son de aproximadamente la misma intensidad y emiten cantidades de luz similares, su brillo aparente permite medir sus distancias. Entré más débil se



observe el estallamiento de una supernova, más lejana será la galaxia donde se encuentra. Resulta que la supernova 1987A fue mucho más débil de lo que se esperaba teóricamente, esto quiere decir que no todas las explosiones de supernova son iguales y que hay que tener mucho cuidado al utilizarlas como patrones luminosos para obtener distancias.

3. Evolución química

Hemos visto cómo las estrellas manufacturan en su interior elementos químicos más elaborados que el hidrógeno. A partir de este compuesto tan sencillo producen helio, carbono, nitrógeno y oxígeno así como los elementos químicos con masas similares a las de éstos. Los elementos químicos más pesados se construyen durante la explosión de las supernovas por medio de captura de neutrones.

Al final de sus vidas las estrellas con masas mayores a la del Sol arrojan sus atmósferas al espacio interestelar, contienen los elementos químicos más pesados que el hidrógeno que fueron elaborados por ellas, tanto en sus fases de combustión termonuclear como durante sus explosiones. Los gases arrojados, ricos en elementos pesados, se mezclan con el gas interestelar, de tal manera que las nubes moleculares de las cuales se formarán las generaciones sub-

secuentes de astros estarán enriquecidas por polvo de estrellas.

Así, entre más viejo sea un sistema, su gas será más rico en elementos pesados debido a que habrá habido más tiempo para que varias generaciones estelares lo hayan enriquecido.

El Sol y la Tierra se formaron a partir de una nube de gas y polvo que contiene materia elaborada proveniente de varias generaciones estelares que lo antecedieron. Cada átomo de carbono que forma nuestra piel, de oxígeno que respiramos, o del hierro de nuestra sangre, estuvo alguna vez en el interior de una estrella.

En México, uno de los campos más pujantes de investigación es el de la materia interestelar y su composición química. Varios investigadores, entre los que destaca Manuel Peimbert, han medido con gran cuidado la composición química en diversos lugares del Universo en donde hay nubes de gas ionizado. Han podido detectar variaciones producidas por la evolución química de las estrellas que las precedieron. Por ejemplo han descubierto que en las Nubes de Magallanes, hay relativamente pocos elementos pesados, lo cual implica que ha habido poca evolución estelar en estos sistemas. En cambio en nubes ionizadas cercanas al centro de nuestra Galaxia, estas abundancias químicas son mayores, indicando que la tasa de formación estelar fue mayor.◇