

Somos polvo estelar.

Nuestras vidas, los cuerpos humanos, lo que comemos y respiramos, el planeta... todo está hecho de elementos químicos pesados.

Y todo proviene de las estrellas. El BigBang solo creó hidrogeno y helio. Ellas hicieron el resto.

Saber como nacen y evolucionan las estrellas es conocer los fascinantes detalles del origen de la materia.

Y sobre todo recordar que, sin las estrellas, incluyendo las mas lejanas, no existiríamos.

equilibrio vital

Ya vimos que la vida de una estrella es una lucha constante entre la gravedad y la presión generada por su propia energía. La estrella se mantiene estable mientras esas dos fuerzas estén perfectamente equilibradas: esa fase se llama "equilibrio gravitacional". Y esto necesariamente tiene que acabar mal: la presión es temporaria, pues depende de la producción de energía, mientras que la gravedad es eterna, y siempre acabará por vencer.

Por extraño que parezca, la longevidad de esa fase de equilibrio gravitacional depende de un único factor: la masa de la estrella al momento de su nacimiento. Todas las estrellas se forman de la contracción de una nube de gases, y nacen con masas que van desde 0,1 hasta 100 masas solares. Las estrellas de mucha masa consumen sus reservas a un ritmo tan elevado que solo mantienen el equilibrio gravitacional por unos pocos millones de años. Al contrario las estrellas de poca masa consumen hidrogeno a un ritmo increíblemente bajo, por lo que alcanzan una longevidad de varias veces la edad actual del propio Universo!

Tradicionalmente se dividen las estrellas en 3 categorías:

1/ Estrellas de poca masa, es decir menos de 2 masas solares (M_{sol}), que en adelante llamaremos livianas;

2/ Estrellas intermedias, entre 2 y 8 M_{sol} ; En esta discusión incluiremos esta categoría en la de las livianas ya que tienen prácticamente la misma evolución.

3/ Estrellas de mucha masa, mas de 8 M_{sol} , que llamaremos masivas lo cual suena algo mejor que "pesadas"...

Las estrellas livianas siempre acaban como gigantes rojas y luego nebulosas planetarias, dejando como "resto" una enana blanca; Las estrellas masivas se vuelven gigantes y supergigantes rojas, acabando por estallar en supernova y dejando como resto una estrella de neutrones, o incluso un agujero negro.

La diferencia entre las 2 categorías es enorme y cuesta creer –pero es así –que tan solo se deba a esa masa límite de 8 M_{sol} ...

En este capítulo repasaremos los conocimientos mas recientes sobre el nacimiento y la vida de esas 2 categorías de estrellas. En el próximo capítulo estudiaremos sus respectivas fases finales.

nacimiento de una estrella

Las estrellas nacen de gigantescas nubes de gas que andan flotando por la galaxia. Son nubes relativamente densas en comparación con el entorno (sin embargo son aun mas tenues que el mejor "vacío" que se alcance a

producir en los laboratorios terrestres...) Tienen temperaturas típicamente de 10 a 30 grados Kelvin. Y, como todo en el Universo, están compuestas esencialmente de hidrógeno y helio. Algunas incluso son nubes moleculares, ya que las bajas temperaturas permiten que los átomos de hidrógeno –e incluso de los escasos elementos pesados –se junten en moléculas. Esas son las nebulosas oscuras que se aprecian en los telescopios, como la famosa Cabeza de Caballo en Orión.

También en razón de la baja temperatura, la gravedad consigue localmente agregar moléculas formando pequeños grumos de materia: en una nube molecular aparecen entonces varios grumos, y cada uno de ellos dará nacimiento a una estrella. El mecanismo preciso que genera esos grumos es desconocido.

En todo caso, todo empieza con una contracción gravitacional entorno a esos grumos. Esto produce energía térmica que irradia libremente hacia el espacio mientras las densidades no son elevadas. Esa fase se puede observar en infrarrojo. Pero llega un momento en que las altas densidades ya no permiten el libre escape de la energía. La energía empieza entonces a oponerse a la gravedad: esta nube densa que se atreve a resistir a la gravedad se llama proto-estrella (es por ejemplo la nube proto-solar que estudiamos en el capítulo de formación del Sistema Solar). Mientras tanto, el resto de la nube de gas sigue concentrándose hacia la proto-estrella, añadiéndole mas y mas masa.

Esa lluvia de materia que cae sobre la proto-estrella acaba por formar un disco proto-estelar parecido al disco del cual nacen los planetas aunque ello no esté necesariamente relacionado: el disco proto-estelar se forma sistemáticamente, aunque no se desarrollen planetas. De hecho no se sabe muy bien lo que "decide" que un disco proto-estelar se convierta en disco proto-planetario.

En todo caso ahí tenemos un disco proto-estelar orbitando una proto-estrella, poniéndose todo ello en rápido movimiento de rotación: recordemos que todo lo que se contrae tiene que girar sobre si mismo para conservar el momento angular... La rotación genera entonces un potente campo magnético el cual, a su vez, genera un viento estelar. Es interesante anotar que el viento estelar nace antes que la propia estrella.

En cierto momento la rotación empieza a frenar, ya que el viento estelar lleva consigo algo de momento angular. Pero no por ello las cosas se calman. Las proto-estrellas suelen desarrollar chorros de materia por los polos, es decir por el eje de rotación. Son en cierto modo "viento estelar concentrado" expulsado violentamente en direcciones opuestas. Hoy día se desconoce la razón por la cual surgen esos chorros así como el proceso que los generan, pero se sabe que juegan un importante papel en la transición entre proto-estrella y estrella. Son ellos por ejemplo que ayudan a "limpiar" la nube proto-estelar de los gases remanentes: este es el momento en el que la proto-estrella se vuelve visible. En ciertas ocasiones los mismos chorros se alcanzan a ver: cuando interactúan con la materia interestelar se materializan en complicadas nebulosidades llamadas "objetos Herbig-Haro" (según los dos astrónomos que los identificaron).

Alcanzando la secuencia principal

Llegado a ese punto la proto-estrella ya se parece a una estrella, pero no lo es: su temperatura central es de un millón de grados, lo que no es suficiente para iniciar las reacciones de fusión nuclear. Pero no olvidemos que sigue activa la contracción gravitacional por lo que la temperatura sigue aumentando. El ciclo de fusión del hidrógeno necesita unos 10 millones de grados para desencadenarse. En cuantos se alcanza esa cifra empiezan instantáneamente las reacciones nucleares e simultáneamente se detiene la contracción gravitacional, estableciéndose el equilibrio gravitacional. Este preciso momento es considerado como el nacimiento de la estrella.

Tenemos entonces toda una estrella de la secuencia principal. El tiempo que pasó desde la formación de la proto-estrella hasta el nacimiento de la estrella depende de la masa. Como siempre, las masas masivas lo hacen todo muy rápido. El proceso puede durar menos de un millón de años, pero el Sol por ejemplo necesitó unos

50 millones de años. Las mas pequeñas estrellas pueden tardar cientos de millones de años en formarse. Es asimismo curioso anotar que algunas estrellas viven menos que el tiempo que necesitan otras solo para nacer!

La evolución de proto-estrella a estrella se desarrolla mas precisamente en cuatro etapas:

- 1/ En el instante en que la proto-estrella se vuelve visible tiene una temperatura de superficie de unos 3.000 grados y una luminosidad de 10 a 100 unidades solares. La energía atraviesa el astro solo por convección;
- 2/ Ya que sigue en curso la contracción gravitacional, la proto-estrella disminuye de tamaño pero sin aumentar su temperatura de superficie, por lo que disminuye su luminosidad;
- 3/ Empieza a transportarse la energía interna por radiación, en vez de convección sola: eso incrementa la temperatura de superficie, y por tanto la luminosidad. En esa fase empieza también la fusión nuclear pero muy despacio, sin alcanzar el equilibrio gravitacional;
- 4/ El ritmo de producción de energía por fusión nuclear alcanza su valor máximo y se establece el equilibrio gravitacional. El astro es ya una estrella de la secuencia principal, y el resto de su vida se decidió ya, según con que masa integra la secuencia principal;

Segregación de masas

Una simple nube de gas interestelar incluye miles de masas solares, por lo que no es de extrañar que las estrellas nazcan en cúmulos. Lo que se entiende menos sin embargo es por qué las estrellas se forman con tanta diferencia de masas entre sí. En realidad tampoco entendemos el proceso que da inicio a los grumos de materia: lo único que nos toca pues es observar el resultado.

Las estrellas son esencialmente livianas. En un joven cúmulo estelar, por cada estrella masiva tenemos 50 estrellas con 1 masa solar, y cientos con menos de 0,5 masas solares. Luego con el paso del tiempo la proporción de estrellas livianas aun aumenta, ya que las masivas van desapareciendo.

Existe un límite máximo teórico a la masa que pueda tener una estrella, de unas 100 masas solares. Actualmente no se conoce ninguna estrella mas pesada, lo que confirma ese límite ya que, de existir, dichas estrellas serían tan luminosas que se verían fácilmente y de muy lejos. Es muy probable que jamás existieran.

El límite inferior es mas preciso, valiendo exactamente 0,08 masas solares. Por un extraño efecto cuántico que estudiaremos en otro capitulo, con menos masa la contracción gravitacional se detiene antes de poder alcanzar la fase de fusión del hidrogeno. Existen sin embargo astros de menos de 0,08 masas solares: son las llamadas "enanas marrón", naturalmente de muy baja luminosidad, que colman el vacío que había entre estrellas y planetas (el cual no es muy extenso, ya que 0,08 masas solares son el equivalente de tan solo 80 Júpiter).

Ese mencionado efecto cuántico –llamado presión degenerada –no disminuye con el tiempo: es tan eterno como la gravedad, por lo que las enanas marrón tienen esa rara distinción de ser los astros mas estables de todo el Universo. El equilibrio que alcanzaron es ilimitado, asimismo como su longevidad...

Por ser tan tenues las enanas marrón son difíciles de detectar, aun cuando están muy cerca. La primera se descubrió en 1995: denominada "Gliese 229B", tiene 0,05 masas solares y orbita una estrella brillante (por unas semanas se creyó que era un planeta extra-solar). Hoy se conocen muchas, y se calcula que incluso podrían ser muchísimo mas numerosas que las verdaderas estrellas!

las estrellas de poca masa

En la jerarquía estelar el Sol es una estrella mas bien mediocre, y tenemos mucha suerte de que sea así pues de lo contrario no existiríamos. Ciertamente las estrellas livianas tienen una vida larga y tranquila, que vamos a repasar aquí.

Despacito y tranquilito

Así es el ritmo de producción de energía en las estrellas livianas, por fusión del hidrogeno en helio. Esa energía es transportada del núcleo estelar hacia la superficie, primero por radiación, luego por convección. La proporción entre las correspondientes zonas depende de la diferencia de temperatura entre el centro y la superficie, lo cual también influye en la longevidad de la estrella ya que la zona radiativa es mas eficiente que la convectiva en esa tarea de transporte de energía. Las estrellas masivas no tienen zona convectiva, por lo que la energía se les escapa mas fácilmente. En el caso del Sol, la temperatura de superficie permite una zona convectiva de aproximadamente 1 tercio del diámetro.

La extensión de la zona convectiva también influye en la actividad estelar, que son las manchas de superficie y las erupciones de plasma. Vimos que esa actividad se debe a distorsiones de líneas de campo magnéticas por convección y rotación de la materia estelar. Por tener zonas convectivas extensas, y además rotaciones rápidas, las estrellas livianas suelen presentar fuerte actividad. Los casos mas espectaculares son las estrellas de clase espectral M, quienes sufren erupciones en rayos X que a veces sobrepasan la luminosidad total de la estrella.

Se les conoce como "flare stars" (estrellas eruptivas). Ciertamente la vida en un eventual planeta de una estrella eruptiva no debe de ser muy fácil...

Las estrellas livianas van aumentando paulatinamente su luminosidad. En efecto, la fusión nuclear convierte 4 hidrogenos en 1 helio: independientemente de todo el resto, el número de partículas disminuye, haciendo que el núcleo estelar se comprime, y por lo tanto se calienta.

Pero lo mas decisivo de la vida de una estrella liviana es cuando se le acaban las reservas de hidrogeno...

Gigante roja

Al cesar las reacciones de fusión de hidrogeno, el núcleo estelar ya no puede contrarrestar la gravedad y se comprime rápidamente. Curiosamente las capas externas empiezan a expandirse y la estrella aumenta su luminosidad, convirtiéndose en una sub-gigante, luego en una gigante roja. Se calcula que para estrellas de 1 masa solar, el proceso dura unos 1.000 millones de años, el diámetro aumenta de 100 veces, y la luminosidad 1.000 veces. Ciertamente es una paradoja que, por acabarse su combustible, una estrella se vuelva mas grande y mas luminosa, pero eso se explica por los detalles de lo que está ocurriendo.

Tenemos un núcleo estelar de puro helio (en cierto modo son cenizas) llamado núcleo inerte. Pero alrededor está una espesa capa de hidrogeno no utilizado: al comprimirse el núcleo inerte, la zona se calienta tanto que ese envoltorio de hidrogeno empieza con el ciclo de fusión nuclear, produciendo él mismo energía a un ritmo superior al anterior. Recordemos que en la fase "tranquila" la estrella disponía de un sistema de termostato natural que compensaba toda variación de temperatura. No es el caso ahora (el envoltorio no puede intervenir en la compresión del núcleo inerte, que es la causa del excesivo calor), y las reacciones de fusión nuclear van totalmente desencadenadas. Al contrario, el helio producido se añade al núcleo inerte, acelerando su compresión y el consecuente aumento de temperatura. La estrella está atrapada en un ciclo infernal. La energía producida es la que provoca la expansión de las capas externas.

Ese ciclo acaba cuando el núcleo inerte alcanza los 100 millones de grados: este ya no es inerte, y entonces empieza un nuevo ciclo...

Fusión del helio

A tan altas temperaturas los helio fusionan entre sí: precisamente 3 núcleos de helio forman 1 núcleo de carbono. Según el famoso principio de la fusión, el núcleo de carbono pesa algo menos que los 3 núcleos de helio, lo que produce mucha energía. Pero al contrario de lo que ocurría con el hidrogeno, las cosas son aquí algo mas sofisticadas. Sabemos por ejemplo que incluso interviene la "presión degenerada" que mencionamos con el tema de las enanas marrón...

El resultado es que en cierto momento se produce un potentísimo pero efímero "flash" –justamente llamado flash de helio –que libera enormes cantidades de energía hacia afuera. El núcleo de helio se expande, empujando hasta el envoltorio de hidrogeno que aún está en pleno ciclo de fusión. Así consigue enfriarse todo, disminuyendo el ritmo de producción de energía. La luminosidad y el tamaño de la estrella disminuyen notablemente, lo que marca una tregua pero también anuncia el inicio de otros nuevos ciclos...

Últimas fases

Tarde o temprano el núcleo de helio se habrá convertido en puro carbono, pasando lo mismo que en las anteriores etapas: el núcleo de carbono inerte se ve envuelto en una capa de helio. Al comprimirse, el carbono se calienta y empieza la fusión de ese envoltorio de helio (y no olvidemos que mas arriba sigue el envoltorio de hidrogeno, quién no cesó su ciclo de fusión ni con el empujón que recibió del flash de helio...)

Tenemos entonces a varias zonas, cada una fusionando por su lado, lo que se convierte en un complicadísimo e incesante balance entre las sucesivas energías y presiones –sin olvidar la presión degenerada, todo ello provocando series de frenéticas contracciones y expansiones acompañadas de sus debidas alzas y bajas de luminosidad ya que en ningún momento se conseguirá un equilibrio. Ese ciclo se denomina "pulsos térmicos", y suele durar unos pocos millones de años para estrellas de 1 masa solar.

Las estrellas mas livianas pueden prolongar un poco sus vidas con la fusión del carbono, pero no mucho. En efecto dicha fusión requiere unos 600 millones de grados, y a tan elevadas temperaturas domina la presión degenerada garantizando un final próximo (ya no se podrá impedir una expansión total y definitiva). En ciertos casos la convección logra llevar a la superficie parte del carbono del núcleo, originando lo que llamamos "carbon stars" (estrellas carboneas). Estas son visualmente espectaculares ya que se presentan con un profundo color rojo, notablemente mas intenso que las clásicas gigantes rojas. Es importante anotar que el carbono es un ingrediente fundamental de la vida, y la mayoría de los átomos de carbono provienen precisamente de esas estrellas...

Aquí nos aproximamos al final de las estrellas, pero aún les queda por ofrecernos un fabuloso espectáculo: las llamadas nebulosas planetarias.

Dominando la presión (sea tradicional o degenerada) y con ayuda del viento solar, al final del ciclo de pulsos térmicos las estrellas expulsan hacia el espacio todas su materia, excepto el núcleo de carbono. Se forman extensas burbujas de materia difusa en rápida expansión. El núcleo de carbono todavía emite radiación, incluyendo ultravioleta, por lo que la materia expulsada se ioniza, dándole esos colores variados.

Las nebulosas planetarias no tienen nada que ver con los planetas: deben su nombre a su aspecto de disco brillante en ciertos casos bastante similar al de un planeta. Ese brillo sin embargo desaparecerá pronto, al enfriarse el núcleo de carbono y al diluirse ellas mismas en el espacio profundo. Con la tecnología actual las nebulosas planetarias se ven con mucho detalle, y bien pocas tienen ese aspecto de disco redondo. Prácticamente se puede decir que cada una tiene forma propia, y el estudio de los procesos de expansión de la materia estelar se convirtió en una de las mas apasionantes disciplinas de la astrofísica.

El núcleo de carbono es lo que llamamos "enana blanca", y también va perdiendo luminosidad con el tiempo.

Finalmente se convertirá en "enana negra", un astro frío y sin la menor fuente de luminosidad.

El fin del mundo está programado

Este relato de la vida de las estrellas livianas es importante para nosotros ya que estamos orbitando una de ellas. El Sol nació hace mas de 4.000 millones de años y en ningún momento del pasado sus eventuales fluctuaciones amenazaron la vida en la Tierra porque nuestro planeta posee un mecanismo de autorregulación del clima (basado en el efecto invernadero generado por el dióxido de carbono) que aguanta las pequeñas variaciones de luminosidad. Pero eso de poco servirá cuando el Sol empiece a expandirse. Nuestro conocimiento del clima terrestre no es lo suficientemente preciso para determinar en que momento la vida en la Tierra se volverá imposible. Puede que ocurra mucho antes de la expansión solar, simplemente por su aumento de luminosidad. Esto podría desarrollarse entonces en 1.000 millones de años. Pero otros estudios indican que nada pasará en los próximos 3.000 o incluso 5.000 millones de años.

Llegará un momento sin embargo en que las cosas se pondrán muy mal. Un poco antes de flash de helio, cuando el Sol aumente 100 veces de tamaño, la temperatura terrestre alcanzara los 1.000 grados en superficie. Por aquellas fechas, cabe esperar que la civilización humana dispondrá de un nuevo hogar, posiblemente Titán, la mayor luna de Saturno. Por el aumento del Sol su temperatura de superficie se habrá vuelto muy acogedora para los humanos.

Pero recordemos que esa fase solo dura unos pocos millones de años. Luego el Sol volverá a expandirse tanto que las protuberancias solares alcanzaran a la Tierra. Cuando finalmente se convierta en nebulosa planetaria, las capas externas pasarán de largo a Júpiter mientras que la Tierra, en caso de seguir entera, sería un astro frío y oscuro enfrentando la fría y oscura luz de una enana blanca...

las estrellas de mucha masa

La vida en la Tierra necesita estrellas livianas como el Sol para desarrollarse, pero también necesita estrellas masivas, pues ellas son las únicas que producen los elementos pesados –mucho mas allá del carbono –de los que todos los planetas están hechos.

Las estrellas masivas empiezan su vida igual que las livianas. Solo cambian dos cosas: la fase "tranquila" de fusión de hidrogeno es mucho mas corta, por lo que ya comentamos del ritmo elevado de producción de energía, y las fases finales son mucho mas dramáticas, concluyendo con la destrucción completa de la estrella en una espectacular explosión que llamamos supernova.

Ni despacito ni tranquilito

En razón de la enorme gravedad, la fusión del hidrogeno en una estrella masiva es muy diferente de la que vimos con las estrellas livianas. Aquí no se usa el ciclo protón-protón sino otra serie de reacciones que igualmente producen helio pero con ayuda de elementos pesados creados permanentemente, como el carbono, nitrógeno, y oxígeno: así se le llama ciclo CNO. El resultado es el mismo sin embargo: 4 núcleos de hidrogeno se convierten en 1 núcleo de helio, por lo que la cantidad de energía producida es la misma (recordemos que se debe a la diferencia de masa entre hidrógenos y helio), lo único que cambia es el ritmo de las reacciones, es decir que todo es mas rápido...

Al producirse mas energía, los fotones se acumulan creando una presión de radiación que se añade a la presión térmica normal, comprometiendo así el equilibrio gravitacional. Todo ello contribuye a acortar la longevidad de esa fase.

Gigante roja y demás fusiones

Estas fases comienzan igual que las que ya vimos con las estrellas livianas, solo que mucho mas rápidas y sin los "intermedios" del flash de helio : en menos de 1 millón de años se alcanza la fase de la gigante roja con un núcleo de carbono. Y aquí empiezan ciclos exclusivos que solo ocurren en las estrellas de mucha masa.

Recordemos que con las estrellas livianas la presión degenerada impedía que el carbono entre en fusión: aquí no existe presión degenerada –o en todo caso no tiene un papel determinante –por lo que la gravedad sigue comprimiendo y calentando ese núcleo de puro carbono hasta alcanzar los 600 millones de grados. Eso es suficiente para desencadenar la fusión del carbono.

La estrella empieza entonces una desesperada lucha para contrarrestar la aplastante gravedad. La fusión del carbono consigue restablecer el equilibrio gravitacional pero por muy poco tiempo (unos cientos de años). Lo que sigue es una serie de ciclos con reacciones químicas bastante complicadas pero todo se puede resumir simplemente: al agotarse el carbono el núcleo estelar se comprime, se calienta, y empieza un nuevo ciclo (fusión de oxígeno), lo que restablece el equilibrio gravitacional, etc... Así se van sucediendo varios ciclos de fusión de elementos de mas en mas pesados: después del oxígeno vienen el neon, el magnesio, y el silicio. Los respectivos periodos son tan cortos que las capas externas de la estrella no tienen ni tiempo en reaccionar: a pesar del frenesís de su núcleo, el aspecto exterior de la estrella es el de una gigante roja "estable", simplemente incrementando poco a poco su tamaño y su luminosidad.

Betelgeuse, la famosa estrella de Orión, es una supergigante roja: es 500 veces mas grande que el Sol, es decir que su radio es el doble de la órbita terrestre! No hay modo alguno de saber precisamente qué ciclo de fusión está desarrollando actualmente. Betelgeuse puede durar unos cuantos miles de años más, pero puede también que pronto presenciemos el espectáculo mas fascinante que ocurra en nuestro Universo...

Hierro !

Llegado a cierto punto tenemos un núcleo estelar de puro hierro, y eso cambia todo. El hierro tiene una particularidad única entre los elementos químicos: no se puede sacar ningún tipo de energía nuclear de él ! En efecto cualquier proceso de fusión del hierro produciría elementos de masa superior, por lo que no existe esa pequeña diferencia de masas que es la que se convertía en energía. Mas allá del hierro, los elementos químicos producen energía nuclear pero solo por fisión, y no fusión, que es lo que hacemos en la Tierra por ejemplo con el uranio. Pero el hierro no produce nada, ni por fisión ni por fusión. Qué pasa entonces con nuestra estrella?...

La respuesta es sencilla. Al no producir energía, un núcleo estelar de hierro es incapaz de generar presión por lo que ya nada puede contrarrestar la gravedad. Se prepara entonces una catástrofe cósmica...

Supernova

La reacción se produce en una fracción de segundo. Los electrones desaparecen convirtiendo todos los protones en neutrones. El núcleo estelar de hierro, de una masa equivalente a la del Sol, se convierte instantáneamente en una "pelota" de puros neutrones de unos pocos kilómetros de diámetro. En cierto modo, esto es un gigantesco núcleo atómico. En todo caso es un objeto estable, ya que en cierto momento interviene la presión degenerada impidiendo que la gravedad siga comprimiéndolo.

El proceso genera una inimaginable cantidad de energía: ese único evento de una fracción de segundo libera 100 veces la energía total que irradia el Sol durante los 9.000 millones de años de su vida completa ! Obviamente las capas externas de la estrella son violentamente expulsadas hacia el espacio. Esa fenomenal

explosión es lo que llamamos "supernova". El núcleo que deja atrás se llama estrella de neutrones, y por primera vez ya no hay confusión con la palabra núcleo, ya que ese "objeto" es tanto un núcleo estelar como un núcleo atómico...

Con estrellas ligeramente menos masivas el núcleo de neutrones resulta algo mas liviano de modo que no interviene la presión degenerada. Esto hace que nada se oponga a la gravedad, y la pelota de neutrones sigue comprimiéndose indefinidamente. En ese caso la supernova deja tras sí un agujero negro, una clase de objetos muy particulares que estudiaremos en un próximo capítulo.

Es curioso anotar que no se sabe aun el proceso exacto de la explosión, es decir en que forma se libera la energía y porque irradia hacia afuera. Hasta ahora se pensaba que al intervenir la presión degenerada y detenerse el colapso gravitacional del núcleo, la materia que en ese momento estaba cayendo hacia el centro "rebotaba", como cuando en una fila de gente corriendo se detiene bruscamente el que va delante. Pero trabajos teóricos recientes indican que serían mas bien los neutrinos los que provocan la explosión : a pesar de que los neutrinos no interactúan prácticamente jamás con la materia, en ese caso son tan numerosos que generan una onda de choque suficientemente potente para expulsar toda la materia estelar.

En todo caso y cualquiera que sea su origen, la onda de choque existe, y ella es la que provoca el brillo fenomenal de la materia expulsada. Por unas semanas, la supernova brilla como 10.000 millones de soles, es decir casi como una galaxia completa! Luego la materia se enfría según se va diluyendo, pero la supernova sigue visible de muy lejos por varios meses. Estos restos estelares van entonces enriqueciendo el espacio con todos los elementos pesados que fue fabricando la estrella, e incluso más, ya que algunos de los neutrones del núcleo también fueron expulsados y reaccionan con los demás elementos. En efecto, dijimos que las estrellas no fabrican ningún elemento después del hierro, por lo que todos los elementos mas pesados que el hierro provienen exclusivamente de las escasas reacciones que se producen durante la explosión de las supernovas. Esto explica que ciertos elementos químicos sean tan escasos.

Luego, mucho mas tarde, de esta materia surgirán nuevas generaciones de estrellas. Así las estrellas de últimas generaciones ya nacen con mas elementos pesados que las anteriores, y a su vez fabricarán mas elementos pesados que lo que hicieron las anteriores. Esto se confirma comparando los espectros electromagnéticos de estrellas de distintas generaciones: las estrellas mas antiguas de los cúmulos cerrados incluyen solo un 0,1% de elementos pesados, cuando el Sol por ejemplo alcanza un 2% de esos mismos elementos.

Si ahora analizamos minuciosamente los elementos pesados presentes en el Universo (nubes interestelares), encontramos que las proporciones corresponden precisamente a lo previsto por los modelos teóricos de la física estelar.

Observando supernovas

" En el primer año del periodo Chih-Ho, en la quinta luna, el día de Chi-Ch'ou, apareció una estrella invitada, unos grados al Sur-Este de Thien-Kuan. Después de un año, se volvió invisible"

Así fue como los Chinos anotaron su observación de la supernova que apareció en Tauro, el 4 de julio de 1054. Los libros astronómicos japoneses y árabes también la mencionan, y algunas inscripciones de los indios de America del Norte posiblemente correspondan al evento. Curiosamente, y eso constituye una enigma histórica, no se menciona a la supernova en Europa, a pesar de que necesariamente allí fuera perfectamente visible.

El remanente es M1, la famosa nebulosa del Cangrejo. Comparando las imágenes tomadas a lo largo de los últimos 50 años se puede apreciar la expansión de la nebulosa, lo que indica la rapidez del proceso.

Observaciones recientes también muestran la estrella de neutrones, todo ello confirmando así las previsiones teóricas.

En la historia humana se identificaron hasta hoy 4 supernovas en total, con fechas de 1006, 1054, 1572, y 1604, siendo la de 1054 la que fue anotada con mas precisión. La de 1572 fue observada por Tycho Brahe, lo que ayudó a convencerle que la tesis de Aristoteles sobre la perfección del Universo no fuera válida. La supernova de 1604 fue observada por Kepler, y se cuenta que el presenciar esa "imperfección" quizás le inspirara para imaginar orbitas elípticas en vez de círculos "perfectos"...

Identificando todos los remanentes de supernova que existan en la galaxia se dedujo una frecuencia aproximada de 1 por siglo, pero desde 400 años exactamente no tuvimos la oportunidad de observar ninguna.

Nos quedó el consuelo de la supernova que apareció en 1987 en la Gran Nube de Magallanes (denominada SN1987A). Al ocurrir en otra galaxia, no fue un espectáculo tan fenomenal como el de las supernovas galácticas, pero al ser la primera supernova que se haya jamás observado con telescopios nos aportó muchos conocimientos sobre el proceso en sí y sobre la materia expulsada. Toda la comunidad astronómica se desplazó hacia el hemisferio Sur para observarla a varias longitudes de ondas, y a ello se unieron el telescopio espacial y algunos satélites.

El resultado empezó siendo sorprendente: en las fotos anteriores de la Nube de Magallanes se identificó la estrella que estalló como siendo una estrella azul, y no una gigante roja como indican las teorías. Se interpreta eso como una anomalía de las capas externas de la estrella pre-supernova, lo que muestra que no sabemos todo lo que hay que saber... Sin embargo los demás aspectos de los ciclos de vida estelares fueron perfectamente confirmados por observaciones detalladas de la supernova, incluso el tema de la importancia de los neutrinos en la misma explosión.

Por último queda por mencionar las numerosas observaciones de supernovas extra-galácticas. Los instrumentos modernos permiten detectar sistemáticamente esos eventos incluso en galaxias lejanas (recordemos que una supernova puede ser tan luminosa como su propia galaxia), y se anotan un promedio de 40 por año. Naturalmente ello ayuda a refinar nuestra comprensión de los ciclos estelares.

la tumultuosa vida de las estrellas binarias

Tradicionalmente por estrella binaria se entiende las estrellas dobles cuyas componentes van muy juntas, y en ciertos casos esa promiscuidad tiene consecuencias, pues el destino de una de las estrellas puede depender de la evolución de la otra !

Tomemos el caso de la binaria Algol. Las componentes son una estrella masiva de 3,7 masas solares de la secuencia principal, y una sub-gigante de 0,8 masas solares. Sabemos que las estrellas masivas duran poco, y que las binarias tienen la misma edad ya que nacieron juntas. Cómo explicar entonces que la "pequeña" componente ya esté en la fase de sub-gigante mientras que la masiva sigue en la secuencia principal ? La respuesta es algo inesperada.

En estrellas binarias muy juntas, las fuerzas de marea hacen que estas se deformen, tomando un aspecto ovalado, y que estén en rotación totalmente sincronizada. Entonces se produce el proceso de transmisión de masas, cuando una de las dos estrellas crece. En el caso de Algol, teníamos inicialmente una estrella masiva –llamémosla M –y una liviana. Cuando M alcanzó la fase de gigante roja, mucha de su masa se transmitió a su compañera. Así M retrocedió al estatus de sub-gigante, mientras que su compañera, aun permaneciendo en la secuencia principal, es ahora la mas pesada de las dos ! Lo mas divertido es que, al volverse tan masiva, esa compañera está acelerando su propio ciclo de vida. Pronto se convertirá en gigante roja, y podrá entonces "devolverle" masa a M. Así se instalará un incesante juego entre las dos componentes, acabando por ejemplo

con una enana blanca orbitando una estrella de neutrones.