

8.1. PARTICULAS ELEMENTALES

Dalton a principios del siglo XIX, propuso como bloque elemental de la materia los átomos. A principios del siglo XX, Rutherford descubre que el átomo posee electrones en torno a un núcleo, atados por fuerzas electromagnéticas. Para investigar el núcleo se construyen los aceleradores de protones y las colisiones ponen en evidencia partículas elementales, que a mediados de los 60 se dan a conocer. Ellas tienen propiedades como masa, spin y estabilidad.

Gonzalo Duque-Escobar

La **masa** puede ser cero; masa y energía también pueden ser intercambiables. Por eso en los procesos de creación de masa a partir de energía, se pueden generar partículas donde antes no había ninguna. Las masas se miden normalmente en **giga- electronvoltios (GeV)**, unidad correspondiente a 10^9 veces la energía necesaria para mover un electrón a través de un voltio. La masa del protón es algo inferior a un GeV. Tal unidad también sirve para medir energía.

El **spin** es una propiedad análoga a la rotación de la Tierra sobre su eje. A nivel cuántico, esa rotación no tiene un período tan libre como el de los planetas. Las partículas sólo pueden girar a ciertas velocidades bien definidas. Cabe el término de velocidad de rotación básica como unidad fundamental. Tal velocidad se puede calcular, y la del protón, por ejemplo, es 10^{22} revoluciones completas por segundo. Es que las velocidades de rotación son ciertos múltiplos definidos de esa unidad fundamental. Por ejemplo, el doble o la mitad de rápido, y no tres cuartos o dos tercios de esa velocidad. Si para el protón este número es $\frac{1}{2}$, para la Tierra es del orden de 10^{61} , En otras palabras el protón gira precisamente a la mitad de la velocidad de rotación básica que la mecánica cuántica le asigna.

La **estabilidad** tiene pocas excepciones en las partículas elementales. Al final casi todas se desintegran dando lugar a otras partículas más ligeras. Por ejemplo, un neutrón libre desaparecerá tarde o temprano para dar origen a un protón, un electrón y una partícula sin masa llamada neutrino. Si el anterior proceso es lento (más de 10 minutos), otros son tan cortos como 10^{-23} seg.

Se han descubierto cientos de partículas casi todas inestables, algunas elementales, otras no porque esperando pueden desintegrarse. Organizar y clasificar partículas tiene una especie

de imagen especular de la clasificación en las **antipartículas**, y supone utilizar una de las propiedades señaladas. Pueden clasificarse por el spin, por los productos de desintegración o por la interacción.

Por el spin, si es semientero tenemos **fermiones** (protón, electrón, neutrón, neutrinos, etc.), si es entero o cero se llaman **bosones**. No se ha observado interacción entre fermiones y bosones.

Esperando un tiempo suficiente, para dejar que los productos de desintegración se desintegren, por último llegamos a un conjunto de partículas estables con dos posibilidades, en cuanto al número de protones y antiprotones: o predomina uno de ellos o no hay exceso de uno de los conjuntos. En el primer caso la partícula original se llama **barión**, en el segundo **mesón**.

Desde el punto de vista de las interacciones hay tres clases: **Leptones** (no interaccionan fuertemente), **Quarks** (pueden tener tres colores), **Bosones** (transmiten interacciones). El número de partículas y antipartículas es 48.

8.1.1 Leptones

Son el electrón y los mesones muón y del tau, con sus correspondientes neutrinos: electrónico, muónico y del tau. Todos tienen espín $\frac{1}{2}$ tomando como unidad la constante h

Gonzalo Duque-Escobar

de Planck. En las tres primeras la carga es -1 y en los neutrinos es 0, tomando como base la carga del protón. Las masas son en su orden: $e = 0.511$; $\mu = 105.7$; $t = 1780$; $V_e < 10^{-5}$; $V_\mu < 0.65$; $V_t < 250$, tomando los valores en MeV, o sea en millones de electronvoltios. De todos, el electrón es estable, las partículas μ y t no son estables y los neutrinos V_e , V_μ , V_t , parecen ser estables. El espín mide la rotación intrínseca de la partícula. Además cada una de las partículas tiene su antipartícula con carga contraria.

8.1.2 Los Quarks

Se necesitan tres para formar un protón o un neutrón. Ellos son: u (arriba), d (abajo), c (encantado), s (extraño), t (cima), b (fondo). Si los seis tienen espín $\frac{1}{2}$, en los quarks u, c y t la carga es $\frac{2}{3}$ y en d, s y b es $-\frac{1}{3}$. Las masas son $u = 4?$, $d = 8?$, $c = 1150?$, $t = ?$, $b = 4500?$ Si los cuatro últimos son inestables y el d sólo en los protones, el u resulta estable.

Los quarks constituyen los **hadrones** agrupándose en tríos; los ocho hadrones son el protón, el neutrón, sigma neutro, sigma positivo, sigma negativo, Xi neutro, Xi negativo, y Lambda. Los **mesones** se constituyen por un quark y un antiquark. De los mesones tenemos el Pion (+), el Pion (-), el Kaon neutro, el Kaon (+), el Antikaón neutro. Los colores de los quarks: azul, amarillo o rojo, no son color propiamente dicho, sino un tipo de carga diferente de la carga eléctrica dada para cada uno.

8.1.3 Bosones

Los bosones son el fotón, el gravitón, los gluones y las partículas W y Z. Si a los quarks y leptones se les llama **fermiones** por tener espín $\frac{1}{2}$, los bosones tienen espín "no fragmentario", así: fotón = 1; W = 1; Z = 1; gluón (8 tipos) = 1; gravitón = 2. El intercambio de bosones virtuales entre dos fermiones produce las **cuatro fuerzas** de la naturaleza: el electromagnetismo (fotón), la gravedad (gravitón), la fuerza débil (W y Z), la fuerza fuerte (gluón). A excepción de la partícula W cuya carga es -1, los otros cuatro mensajeros no tienen carga. Sólo el fotón y el gravitón son estables y no tienen masa, la masa de W = 80000?, de Z = 90000? y los 8 gluones parece que no tienen masa. El gravitón, el fotón y Z son ellos su misma antipartícula.

8.2. LAS FUERZAS FUNDAMENTALES

En la actualidad hay cuatro fuerzas fundamentales conocidas. Las fuerzas de la gravedad y del electromagnetismo son familiares a la humanidad gracias a que su alcance es infinito. Las dos restantes fuerzas escapan a nuestros sentidos por operar a nivel subatómico. Estas son la interacción fuerte y la débil, responsables, la primera de mantener unidos los protones en el núcleo, pese a su idéntica carga, y la segunda de gobernar la desintegración de los elementos radioactivos. Por su intensidad, la primera es la interacción fuerte, le sigue la fuerza electromagnética, luego la interacción débil y por último la gravedad. Si Newton demostró que la fuerza que rige la caída de las manzanas y el movimiento de los astros, es la misma, Maxwell unió la electricidad y el magnetismo en una sola fuerza.

Gonzalo Duque-Escobar

¿Cuándo aparecen las fuerzas? La gravedad aparece a los 10^{-43} seg de ocurrido el Big Bang, la nuclear fuerte aparece a los 10^{-35} seg y las dos restante, electromagnética y nuclear débil, a los 10^{-10} seg se separan.

El **principio de incertidumbre** indica que es posible la creación de una partícula, siempre que la partícula en cuestión sea reabsorbida inmediatamente, antes de que sea factible la medición que detecte la violación a la ley de conservación de la energía. Es que los físicos modernos consideran las fuerzas fundamentales como un intercambio de partículas, lo que aparentemente se prohíbe en esta ley de la Termodinámica, ya que se requeriría que la energía de la masa de la partícula intercambiada, se creara a partir de la nada.

Según el **principio de exclusión**, un sólo fermión puede viajar por el espacio en una determinada dirección, con una determinada energía. Esta restricción no rige para los bosones, quienes pueden ir en gran cantidad con la misma dirección y energía formando ondas coherentes. Si la radiación es gravitatoria o electromagnética es porque hay movimiento acelerado de masas o cargas, respectivamente.

8.3. VARIABLES ESTELARES

Según vimos si un haz de luz solar pasa por un diafragma en forma de rendija e incide sobre un prisma, la luz se descompondrá en distintos colores, es decir, en un espectro. Son muchas las variables físicas que pueden conseguirse a través del análisis espectral y de la medición de algunas variables estelares, como la distancia por métodos geodésicos. Estas

variables van resultando interrelacionadas, si se hace uso de una herramienta tan poderosa como el **diagrama H-R**.

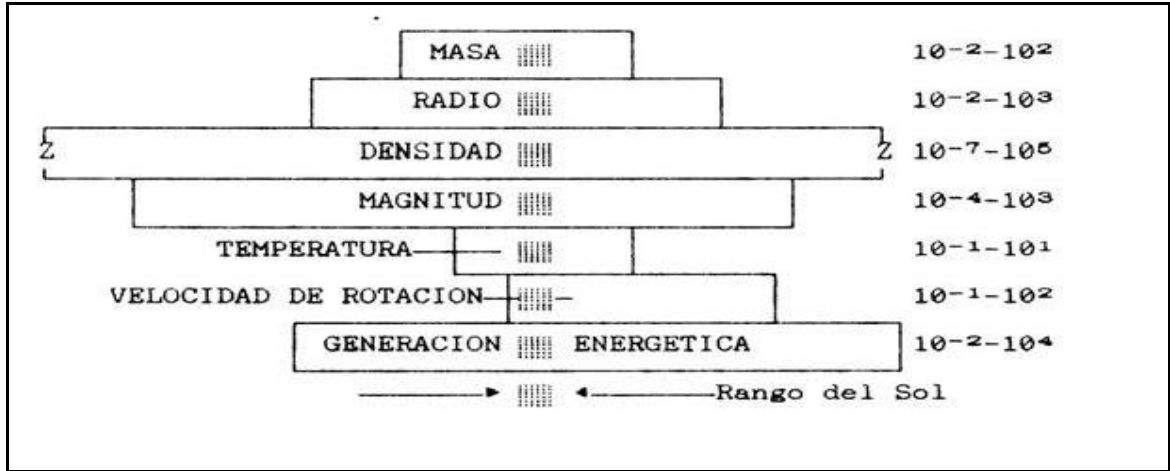


Figura 8.1. Rango las variables estelares: dominio de variación de las magnitudes de estado de las estrellas en comparación con el valor del Sol.

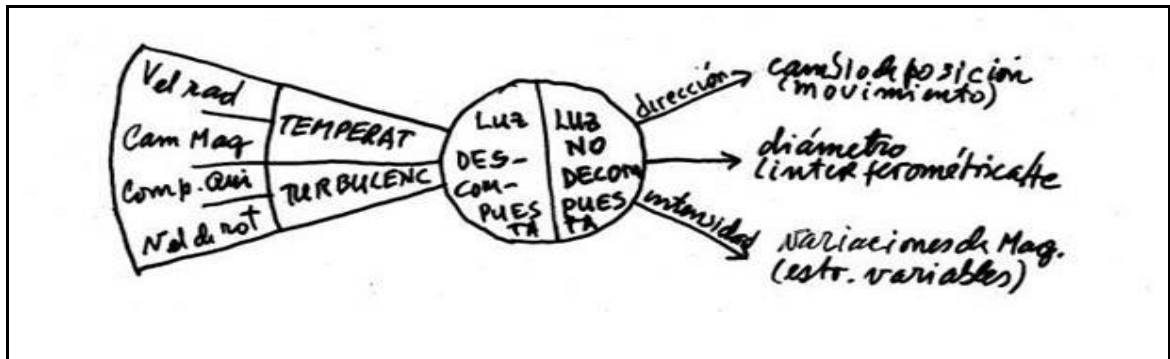


Figura 8.2. Análisis de la luz de una estrella: a la derecha, con luz no descompuesta se evalúan velocidad radial y angular, composición, y campo magnético; y a la izquierda con luz descompuesta, espectrográficamente: movimientos, tamaño e inestabilidad estelar.

8.4. ESTRELLAS NOTABLES

8.4.1 Las 10 estrellas más próximas

Paralaje mayor que 0.30".

Cuadro 8.1 Las 10 estrellas más próximas

NOMBRE	PARALAJE	MAGNITUD APARENTE
Próxima Centauro	0.762"	10.7 ^m
a Centauro	0.751	0.3
Estrella de Barnard	0.545	9.5
Lobo 359	0.425	13.7
Lalande 21 185	0.392	7.5
L 726-8	0.385	12.4
Sirio	0.375	-1.5
Ross 154	0.351	10.6
Ross 248	0.316	12.2
e Eridano	0.303	3.7

8.4.2. Las estrellas más luminosas

Cuadro 8.2 Las estrellas más luminosas

Estrella(constelación)	Mg visual	Dist a.l	Brillo(sol=1)	Color	Temp °C
Sirio (Perro Mayor)	-1.44	8.8	22	amarillo blanq	8000 a 12000
Canopus (Quilla de Barco)	- 0.77	550	8600	blanco amarillo	6000 a 8000
a Centauri (Centaur)	- 0.27	4.3	1.3	amarillo	5000 a 6000
Arturo (Boyero)	- 0.05	36	200	amarillo rojizo	3500 a 5000
Vega (Lira)	0.03	26	50	amarillo blanq	8000 a12000
Capella (Auriga)	0.09	45	120	amarillo	5000 a 8000
Rigel (Orión)	0.11	880	>100000	blanco	12000 a 15000
Proción (Perro Menor)	0.36	11	5	blanco amarillo	6000 a 8000
Achernar (Eridano)	0.55	115	210	blanco	12000 a15000
Centauri (Centaur)	0.69	430	1200	blanco	12000 a15000
Betelgeuse (Orión) ²	0.4-1.3	600	> 10000	rojo amarillento	3000 a 3500
Altair (Aguila)	0.77	16	10	amarillo blanquecino	8000 a12000
Aldebarán (Tauro)	0.80	68	> 100	amarillo rojizo	3500 a 5000
Crucis (Cruz del Sur)	0.81	265	1300	blanco	12000 a 15000
Antares (Escorpión) ²	0.9-1.8	420	>10000	rojo amarillento	3000 a 3500

Fuente: Diccionario Rioduero Física del Espacio y otros

8.5. ESTRELLAS DOBLES

Estrellas **dobles**: son dobles ópticas si estando separadas, sólo coinciden con la visual y dobles físicas si se mueven alrededor de un centro de gravedad común.

Como ejemplo de estrellas **dobles ópticas**, donde las estrellas no se corresponden espacialmente, sino que sólo por casualidad están en la misma dirección de observación, tenemos: Alkor y Mizar, en la constelación de la Osa Mayor.

Las estrellas **dobles físicas**, pueden ser **físicas** ópticas o espectroscópicas, según puedan verse ópticamente o si sólo se puede reconocer su naturaleza a partir de las variaciones de las líneas espectrales, aplicando la teoría del desplazamiento Doppler. En éste segundo caso se denominarán **estrellas dobles fotométricas**, pues es la fotometría, aplicada al estudio de los brillos de las estrellas binarias, la que identifica estrellas tan próximas que parecen ser una sola, incluso al observarla con los telescopios más potentes.

Un 25% de las estrellas fijas son **sistemas múltiples** como los sistemas dobles físicos. Se trata de varios astros que se mueven alrededor de un centro de gravedad común.

Se deducen la mayoría de los datos sobre las masas, radios y densidades de las estrellas, aplicando el problema de los dos cuerpos, planteado en la guía 3, fig. 3.8, el cual tiene solución en la mecánica celeste; del movimiento sistemático de algunas estrellas dobles se deducen acompañantes invisibles semejantes a planetas, por el problema de los tres y más cuerpos, el cual admite varias soluciones.

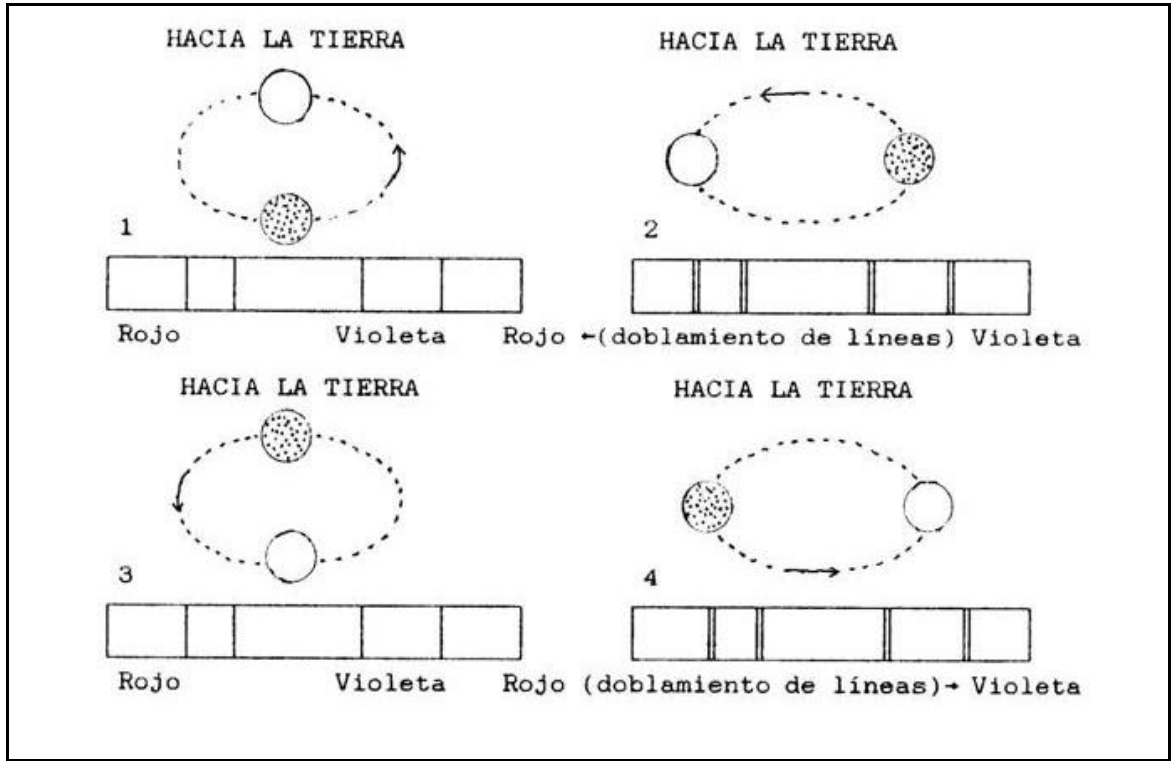


Figura 8.3. Espectros de un sistema de estrellas dobles: se observan las relaciones de los movimientos en una estrella doble espectroscópica. En las posiciones 1 y 3, las líneas espectrales están en su posición normal. En la posición 2, las líneas se han desplazado hacia el rojo y en 4, hacia el violeta (doblamiento de líneas).

Variables eclipsantes son estrellas dobles físicas cuyo plano orbital aparece de perfil al observador. En este caso la luminosidad o brillo del sistema resulta periódico.

Envoltura gaseosa de las estrellas dobles. En realidad las estrellas no son esféricas, pues normalmente rotan alrededor de un eje imaginario. Las estrellas gigantes más lentamente y las enanas más aprisa, pues parte de la energía de colapso se ha convertido en energía cinética. A mayor rotación mayor achatamiento. Las estrellas de la secuencia principal tipo

O, B y A giran en grado apreciable, en las del tipo F la velocidad de rotación disminuye, y desaparece prácticamente en el tipo F5.

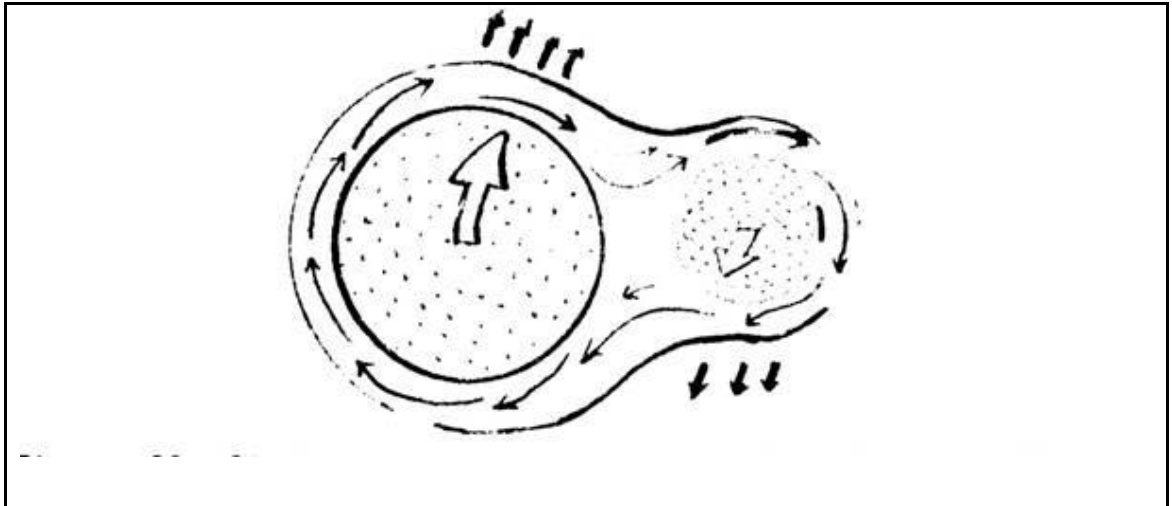


Figura 8.4. Sistema binario con intercambio de masa: se muestra la envoltura gaseosa conjunta alrededor de un par de estrellas dobles; las flechas indican la corriente de gas de una estrella que alcanza la fase de gigante. Ese intercambio supone se modifica la posición del centro de masas y los tiempos de vida de ambos astros

Cuando el sistema es doble las estrellas rotan alrededor de un centro de masa y giran sobre su propio eje. Ambos movimientos tienden a establecerse con regularidad, en cuanto al paralelismo de los ejes de movimiento y los sentidos de movimiento de cada miembro y del sistema. Así y todo, ni el sistema ni los miembros estelares son rígidos. En estos casos se establece un flujo de gas de una de las estrellas de una binaria a la otra. La transferencia de masa sucede cuando una de las estrellas ha crecido lo suficiente para alcanzar su lóbulo de Roche, volumen en forma de ocho del espacio que hay alrededor de una binaria.

8.6. ESTRELLAS VARIABLES

Las estrellas variables pueden ser Pulsantes, Explosivas y de otros tipos. Las Pulsantes se subdividen en categorías como RR Lyrae, Cefeidas e Irregulares. Las explosivas son las propias novas y las variables de otro tipo son estrellas que varían por razones físicas diversas.

8.6.1. Variables pulsantes

Tipo RR Lyrae: son estrellas variables de período corto con duración de una a 24 horas. Pertenecen a la población I. Dentro del mismo rango de temperatura superficiales, de estas estrellas, aparece el grupo de las Cefeidas Enanas, constituido por estrellas de menor brillo.

Tipo Cefeidas: como las Clásicas de la población I y las denominadas W de la Virgen de la población II. Las primeras con mayor brillo que las segundas, pero unas y otras pertenecen al mismo rango de temperatura superficial.

Tipo Mira de la Ballena: son variables con períodos entre 83 y 1374 días, con escasa temperatura superficial y diámetro enormemente grande

Tipo Irregulares: son gigantes o supergigantes de período variable. Las amplitudes no sobrepasan 2 magnitudes y la media llega sólo a 0.5. Algunos autores consideran en la

Gonzalo Duque-Escobar

categoría de irregulares a las estrellas semiregulares y a las de largo período, otros a las semiregulares y a las eruptivas.

Semiregulares: se trata de gigantes y supergigantes pulsantes; su "período" no es estrictamente periódico, por ejemplo Antares, Betelgeuse, μ Cephei.

De largo período: estrellas con períodos entre 1 y 50 días. No son frecuentes y sus períodos no son muy regulares.

Estrellas RV Tauri: son estrellas de alta luminosidad, de las clases espectrales F, G o K, que recorren, con períodos de 50 a 150 días, una amplitud de tres magnitudes aproximadamente. Estas estrellas variables tienen cambio de luz semirregular condicionado probablemente por pulsaciones de supergigantes.

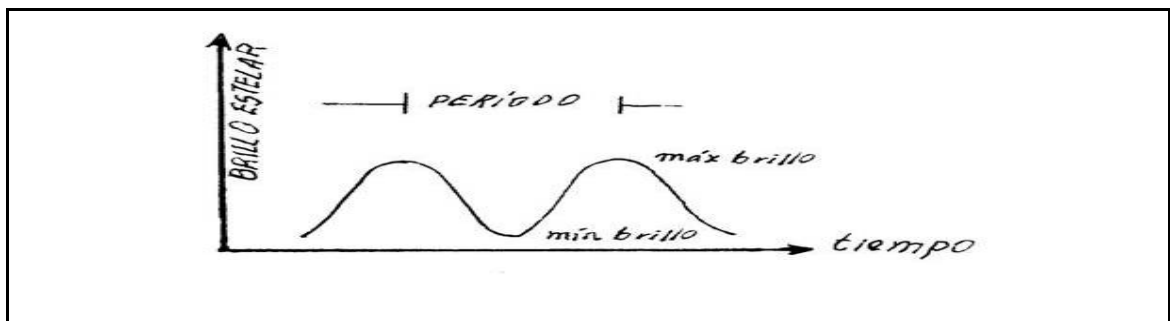


Figura 8.5. Magnitud y período de las estrellas variables: el diagrama muestra la relación entre ambas variables. Existe un período y un rango de valores en el brillo, asociables a la masa y composición de la estrella, de acuerdo a su estado evolutivo.

8.6.2 Explosivas

Las **explosivas** son tipo Nova donde el brillo aumenta súbitamente 10 mil o 100 mil veces y las Supernovas, estrellas 100 mil veces más brillantes que una nova ordinaria. En las **Novas** se trata de variables periódicas en las cuales las pulsaciones se ha hecho extremas. Previamente las pulsaciones se van acelerando hasta que finalmente la expansión se hace explosiva y la sección más externa de las cefeidas estalla abriantando temporalmente la estrella de manera desmesurada. Las pulsaciones se normalizan posteriormente.

Las **Supernovas** se dan en estrellas de gran masa, aquí la temperatura interna de miles de millones de grados centígrados permite la producción masiva de fotones y neutrinos. Los neutrinos no se absorben por la materia, los fotones sí.

Cuando una producción masiva de neutrinos, llevando consigo energía, abandona el núcleo estelar, de manera súbita, se pierde el soporte termonuclear que sostiene la estrella, e implosiona la masa. Este súbito colapso genera hierro por fusión gracias a la nueva energía de acreción, pero también su posterior fisión en helio, liberando la energía acumulada de manera explosiva. En la explosión se forman núcleos más complejos que el hierro y también se lanza con violencia la envoltura constituida por elementos menores.

Como resto de la supernova podrá quedar una densa estrella apagada, cuya naturaleza dependerá de la masa remanente.

8.6.3 De otro tipo

En las de **otro tipo**, sobresalen los **Pulsares** que son estrellas neutrónicas con intenso campo magnético, cuyo eje está orientado en dirección diferente al eje de rotación del astro. También, las emisoras de **Rayos X** que son un tipo de estrella superdensa que recibe masa de su compañera gigante roja. Esta radiación supone un colapso de materia acompañado de un incremento de la temperatura del orden de $T \geq 1000000 \text{ } ^\circ\text{C}$, explicado por energía de acreción.

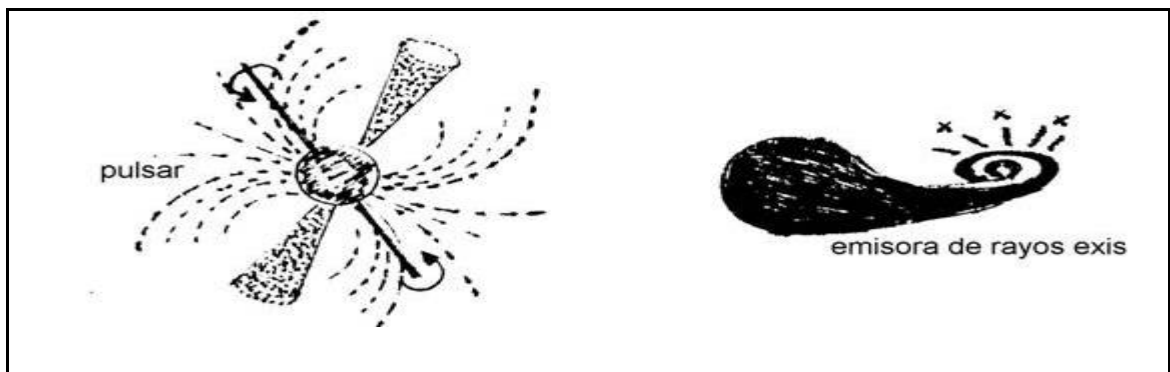


Figura 8.6. Pulsar y emisora de rayos X: el pulsar (izq) sugiere direcciones no conformes de los ejes de rotación y magnético de una e. neutrónica, y de las emisoras de rayos X (der), suponen estrellas masivas que capturan masa de su compañera en la fase de gigante.

Pero en general, las más connotadas son las Pulsantes Regulares ya mencionadas donde las pulsaciones o fluctuaciones tienen períodos proporcionales a su magnitud absoluta y por tal razón resultan útiles para calibrar distancias, pues son ellas verdaderos **faros del Universo**.