

Pulsaciones Estelares

1. Buenos días, profesor y compañeros. El día de hoy quiero hablarles sobre las estrellas pulsantes, las cuales son un tipo de estrellas variables intrínsecas, lo que nos dice que la variabilidad de esta estrella es por razones físicas de la misma. También veremos cómo estas pulsaciones periódicas son útiles para encontrar grandes distancias y ayudarnos a entender cómo es la distribución de estas estrellas.
2. **¿Cómo definimos una estrella pulsante?** Estas estrellas experimentan variaciones periódicas en su luminosidad y radio debido a procesos físicos internos, como ondas de presión y ondas de gravedad. Estas ondas pueden producir pulsaciones radiales o no radiales, dependiendo de los modos de oscilación presentes en la estrella.
3. **¿En qué momento de la etapa evolutiva y por qué suceden estas pulsaciones?** Durante los cambios de etapas evolutivas, las estrellas pasan por ciertos procesos que modifican su funcionamiento interno. Estos procesos los llamaremos “interfases”, que pueden ser vistas en el diagrama de Hertzsprung-Russell (HR). Cuando una estrella se encuentra en estas interfases, se vuelve inestable y pierde el equilibrio hidrostático. Esta pérdida de equilibrio provoca que se conviertan en estrellas variables pulsantes y, en un intento por estabilizarse, comienzan a pulsar.
4. Como ejemplo, aquí se pueden apreciar diferentes tipos de pulsaciones que presentan diferentes estrellas, mostrando una gran diferencia entre las pulsaciones radiales y no radiales.
5. Dentro de todas las bandas de inestabilidad mostradas anteriormente en el diagrama HR, existe una que contiene la mayoría de las principales estrellas variables pulsantes, como las cefeidas y RR Lyrae. Fijémonos en la zona de las cefeidas, la cual está justo en la línea de transición de estrellas gigantes a supergigantes. Cuando las estrellas pasan por esta región, comienzan a pulsar con características de cefeidas. Por lo tanto, podemos deducir que las cefeidas pueden ser gigantes, supergigantes o incluso supergigantes luminosas. También tenemos las estrellas RR Lyrae, las cuales se cruzan con la

ruta de las gigantes, gigantes luminosas y subgigantes, y suelen ser estrellas gigantes blanco-azuladas. Finalmente, en la región de las *Delta Scuti*, encontramos estrellas blanco-amarillentas.

En la parte superior derecha de la gran banda de inestabilidad se encuentra la región de las estrellas variables Mira, ubicada en la rama asintótica de gigantes. Estas estrellas están en una fase tardía de evolución, suelen tener pequeñas masas, pero son miles de veces más grandes que el Sol, con un color rojo intenso y temperaturas bajas. En su última etapa, el Sol pasará por esta banda de inestabilidad.

6. Las oscilaciones dentro de las estrellas pueden ser estudiadas mediante ecuaciones diferenciales acopladas que tienen como solución armónicos esféricos, siendo éstos adecuados para la simetría misma de la estrella. Para entender esto, podemos hacer un símil con las ondas estacionarias en un plano: en una simetría esférica también existen nodos, que son zonas de la estrella donde ésta no oscila, debido a la interferencia de diferentes armónicos. Mientras tanto, el resto de la estrella se expande y contrae.

Para entender mejor cómo funcionan estas oscilaciones, consideremos los parámetros l y m : l indica el número de nodos en la superficie de la estrella, m representa el número de nodos de polo a polo, y finalmente, $l - m$ nos da el número de nodos a lo largo de la latitud.

7. Casos de oscilaciones:

- Para $l = 0$, no habrá ninguna línea nodal sobre la estrella, que vibrará uniformemente en toda su superficie, expandiéndose y contrayéndose al mismo tiempo, mostrando pulsaciones radiales.
 - Para $l = 1$ y $m = 0$, habrá un nodo en el ecuador de la estrella.
 - Para $l = 1$ y $m = 1$, habrá un nodo que atraviesa el ecuador, perpendicular a éste.
 - Para $l = 5$ y $m = 2$, existirán cinco líneas nodales: dos verticales y tres horizontales.
8. Las ondas con $m \neq 0$ viajarán sobre la superficie de la estrella, pudiendo ir en la misma dirección de la rotación o en sentido contrario, dependiendo del signo de m .

Los modos con $m = 0$ son llamados **axisimétricos**, ya que son simétricos

respecto a su propio eje. Estas oscilaciones zonales son independientes de la longitud y, por lo tanto, invariantes en presencia de rotación. Todos los demás modos de vibración no son axisimétricos.

9. Existe otro parámetro para describir una pulsación: el **sobretono radial** k . Este número representa la cantidad de nodos en el interior de la estrella. Cuando no hay nodos en el centro, se dice que la vibración corresponde al modo fundamental.
10. Como se mencionó anteriormente, las estrellas empiezan a pulsar al pasar por las bandas de inestabilidad en la secuencia principal. Estas vibraciones son fruto de la propagación de ondas en su interior. Al igual que un muelle oscilante, existen fuerzas restauradoras que mantienen la estrella pulsando. Las principales fuerzas son la **presión** y la **gravedad**, que dan lugar a las ondas p y g , respectivamente:
Ondas p : Son ondas de presión, similares al sonido, de alta frecuencia. Estas ondas pueden provocar oscilaciones radiales y no radiales, donde las no radiales se reflejan al llegar a la superficie y se refractan al regresar al centro.
Ondas g : Son ondas gravitacionales, con oscilaciones no radiales y de baja frecuencia, originadas por inestabilidades en el fluido estelar.
11. **Utilidad de las pulsaciones para medir distancias:** Estas pulsaciones periódicas se pueden usar para medir distancias en función del brillo emitido por las estrellas. Funcionan como candelas estándar gracias a las calibraciones específicas de las bandas en las que se observan. Para calcular distancias:
 - (a) Determinamos el período de la estrella pulsante mediante observaciones fotométricas.
 - (b) Usamos la relación período-luminosidad para obtener su magnitud absoluta.
 - (c) Medimos su magnitud aparente desde la Tierra.
 - (d) Aplicamos la fórmula:

$$d = 10^{\frac{m-M+5}{5}}$$

Si es necesario, añadimos un término adicional para corregir la extinción por polvo interestelar.

12. Muchas gracias por su atención.