

EVOLUCIÓN ESTELAR
Cambios producidos, al transcurrir el tiempo, en las propiedades individuales de las estrellas

ESTRUCTURA MECÁNICA

ESTRUCTURA ESTELAR
Procesos físicos ocurren en una estrella, desde nacer hasta morir, enriqueciendo el medio interestelar. Su modelo se divide en interior y envolvente, del cual aquí se usa el envolvente. (Estructura estelar estática)

ESTRUCTURA TÉRMICA

Diagrama H-R
Gráfica de la luminosidad estelar como función de la temperatura efectiva de la estrella en su fotosfera. Constituye una herramienta básica en el estudio de la evolución estelar.

ESCALAS DE TIEMPO
Están involucradas en la estructura estelar y definen intervalos en los que las estrellas regresan al equilibrio después de alguna inestabilidad mecánica, térmica o energética.

CONSERVACIÓN DE LA MASA
Distribución radial de masa-densidad local
 $\frac{\partial m}{\partial r} = 4\pi r^2 \rho$
Cambio de masa en una esfera por el movimiento de materia mediante su superficie
 $\frac{\partial m}{\partial t} = 4\pi r^2 \rho v$

EQUILIBRIO HIDROSTÁTICO
La presión del gas proporciona un empuje que contrarresta la fuerza de gravedad
 $\frac{\partial P}{\partial r} = -\frac{Gm}{r^2} \rho$
 $\frac{\partial P}{\partial r} = -\frac{Gm}{4\pi r^4} \rho$

CAMBIO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA
Los primeros dos términos a la izquierda, involucran reacciones entre pares de núcleos, los segundos involucran decaimiento espontáneo de una sola partícula
 $-\sum_j D_{ij} X_i X_j + \sum_{j,k} C_{jk} X_j X_k$
 $-X_i \sum_j \frac{1}{\tau_{ij}} + \sum_j \frac{X_j}{\tau_{ji}} = \frac{dX_i}{dt}$

GRADIENTE DE TEMPERATURA
Está determinado energía a través de una cáscara, proporcional a la tasa de producción de reacciones nucleares
 $\frac{\partial l}{\partial r} = 4\pi r^2 \rho \epsilon_{nuc}$
 $\frac{\partial l}{\partial m} = \epsilon_{nuc}$

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Cambio en el flujo de energía a través de una cáscara, proporcional a la tasa de producción de reacciones nucleares
 $\frac{\partial l}{\partial r} = 4\pi r^2 \rho \epsilon_{nuc}$
 $\frac{\partial l}{\partial m} = \epsilon_{nuc}$

Escala de tiempo dinámico
Es característica de los movimientos a escalas estelares en el campo gravitacional
 $\tau_{din} \approx \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

Escala de tiempo térmica
Permite estimar cuánto tiempo puede subsistir la estrella con una luminosidad determinada a partir de sus reservas de energía potencial gravitatoria
 $\tau_{KH} = \frac{GM^2}{RL}$

Escala de tiempo nuclear
Es el tiempo que puede subsistir una estrella a partir de sus reservas de hidrógeno, helio o el combustible que esté quemando en ese momento
 $\tau_{nuc} = \frac{fMc^2}{L}$

Formación estelar y evolución pre-secuencia principal
Las estrellas nacen en gigantes nubes moleculares, abundantes en diversas galaxias. Contienen mayormente hidrógeno.

Secuencia principal (SP)
Inicia cuando la presión generada por la combustión de hidrógeno se equilibra con la fuerza gravitacional de la estrella alcanzando el equilibrio hidrostático.

Salida de la SP hacia la AGB temprana
Las fases evolutivas siguientes a la SP son cortas y sus diferencias son por la ausencia o presencia de degeneración electrónica en el núcleo.

Fase AGB y evolución final de estrellas de masa baja e intermedia
Comienza con el agotamiento del helio central la estrella reanuda el ascenso en la RGB que había sido interrumpido por la combustión del helio central en la HB.

Formación estelar
El teorema virial puede estimar si la nube se expandirá o si colapsará, dependiendo de la energía cinética total.

Pre-secuencia principal, PSP
La nube colapsa en escala dinámica. Con la conservación del momento angular y las fuerzas magnéticas, colapsa más en una dimensión que en las otras dos, formando un disco alrededor de un centro denso (Protoestrella).

Parte inferior de la secuencia principal
Esta región del diagrama HR está conformada por estrellas de masa baja $M_i < 2M_\odot$
Ort

Parte superior de la secuencia principal
Constituida por estrellas con $M_i > 2M_\odot$

La rama subgigante (SGB)
Se forma un núcleo de He, rodeado por una cáscara de fusión de hidrógeno, que es su fuente de luminosidad.

La rama de las gigantes rojas y la rama horizontal en estrellas de masa baja ($1M_\odot$)
El núcleo es denso y frío. Su transporte de energía por conducción electrónica se mantiene cuasi-isotérmico.

La rama de las gigantes rojas y la rama horizontal en estrellas de masa intermedia ($5M_\odot$)
Es notorio un cambio en el gradiente de temperatura. El inicio de la combustión de He se hace presente se manera no violenta.

La rama asintótica de las gigantes (AGB)
Empieza cuando la combustión del helio cambia repentinamente del centro, hacia una capa alrededor del antiguo núcleo convectivo. Se extingue la capa de hidrógeno y se contrae el núcleo de C-O.

Evolución hacia núcleo de enana blanca
En la última fase de pulsos térmicos, una estrella AGB puede perder hasta 80% de su masa y conformar una envolvente circunstelar considerable que será ionizada y dará lugar a una nebulosa planetaria. Posterior al enfriamiento de la anterior, inicia la fase enana blanca.

ZAMS de baja masa sin evolucionar $M_i \leq 0.1M_\odot$
Nunca alcanzan temperaturas para iniciar la fusión de hidrógeno. Son enanas cafées que terminan su vida con estructura parecida a Júpiter

ZAMS de masa baja $0.8 - 1.0M_\odot \leq M_i \leq 2 - 2.3M_\odot$
Aumentan su densidad central rápidamente. El núcleo cambia a un gas de e^- degenerado, se da un "flash de helio nuclear" y vuelve al equilibrio hidrostático. Finalmente, forman un núcleo inerte y degenerado de C-O.

ZAMS de masa intermedia $2.3M_\odot < M_i < 8M_\odot$
La fusión de He se inicia antes de que el núcleo se degenera. Al final de su vida, también habrá desarrollado un núcleo degenerado de C-O.

ZAMS de masa alta $10M_\odot \leq M_i < 100M_\odot$
Su enorme luminosidad induce una importante pérdida de masa debida a la presión de radiación, así que la evolución de una estrella en este intervalo depende fuertemente de la tasa de pérdida de masa.