

**PROGRAMA DE LA ASIGNATURA
ESTRELLAS ENANAS BLANCAS**

CARRERA: LICENCIATURA EN ASTRONOMÍA

CARGA HORARIA SEMANAL: 4 HORAS

CARÁCTER: ANUAL

PROFESOR A CARGO: LEANDRO G. ALTHAUS; ALEJANDRO H. CÓRSICO

CONTENIDO TEMÁTICO

1. PROPIEDADES OBSERVACIONALES. Importancia y aplicaciones de las enanas blancas. Propiedades básicas. Identificación y principales relevamientos observacionales. Distribución de masa y función luminosidad observadas. Clasificación espectral. Relación masa inicial-masa final. Resultados de misiones espaciales (GAIA, TESS, KEPLER)
2. EVOLUCIÓN ESPECTRAL. Formación de enanas blancas con distinta composición química. Canales evolutivos. Evidencia observacional de evolución espectral. Mecanismos responsables de la evolución espectral: separación gravitacional y mezcla convectiva. Formación de enanas blancas ricas en hidrógeno.
3. PROGENITORES DE LAS ENANAS BLANCAS. Evolución de estrellas progenitoras. Quema central de hidrógeno y helio. Evolución a lo largo de la Rama Gigante (RGB) y Rama Asintótica de las Gigantes (AGB).
Rama Horizontal y problema del segundo parámetro. Proceso de segundo y tercer dragado. Evolución durante los pulsos térmicos y procesos de pérdida de masa. Evolución post-AGB. Perfiles químicos internos. Pulsos térmicos tardíos y enanas blancas deficientes en hidrógeno. Enanas blancas resultantes de evolución binaria: transferencia estable e inestable de masa (envoltura común) y mergers estelares. Formación de enanas blancas de baja masa. Inferencias observacionales.
4. TEORÍA BÁSICA DE ESTRUCTURA Y EVOLUCIÓN DE ENANAS BLANCAS. Perspectiva histórica. Aproximación de temperatura cero: Gas de Fermi y teoría de Chandrasekhar. Sustento observacional a la relación Masa-Radius de Chandrasekhar. Teorema del virial para enanas blancas. Transporte de energía. Modelo de Mestel para la evolución. Mejoras al modelo de Mestel: Interacciones coulombianas y enfriamiento de Debye. Contribuciones energéticas resultantes de cambios de composición química: procesos de separación física durante la cristalización y difusión del ^{22}Ne . Impacto sobre los tiempos de enfriamiento. Cambios químicos en la envoltura: acreción de material planetario sobre enanas blancas. Tasas de acreción e inferencias sobre la composición química de sistemas planetarios extrasolares.
5. MODELOS DETALLADOS DE EVOLUCIÓN DE ENANAS BLANCAS. Impacto de la evolución de las estrellas progenitoras: distribución de abundancia química interna. Incertezas. Procesos físicos responsables de cambios químicos internos durante la etapa de enana blanca. Fuente adicionales de energía de las enanas blancas: energía gravitacional residual y nuclear. Resultados evolutivos de cálculos detallados. Actuales incertezas. Inferencias observacionales sobre la cristalización en enanas blancas. Resultados de GAIA.
6. APLICACIONES A POBLACIONES ESTELARES. Función de luminosidad teórica. Comparación con datos observacionales. Función de masa inicial. Modelo sencillo para determinar la edad del disco de nuestra Galaxia a partir de la función luminosidad observada de enanas blancas. Modelos detallados. Cosmocronología. Determinación de parámetros fundamentales de cúmulos estelares de nuestra Galaxia en base a la población de enanas blancas observadas. Uso de la función luminosidad de enanas blancas como laboratorios de física de partículas.
7. PULSACIONES DE ENANAS BLANCAS Y PRE-ENANAS BLANCAS. Estrellas variables: generalidades. Estrellas variables pulsantes. Escalas de tiempo características de las pulsaciones. Pulsaciones estelares radiales y no-radiales. Grado armónico, orden azimutal y orden radial de los modos.

Clases de modos no-radiales esferoidales y frecuencias críticas. Modos g (gravedad). Excitación de las pulsaciones estelares no-radiales. Pulsaciones no-radiales en enanas blancas y pre-enanas blancas: reseña histórica de su descubrimiento. Características generales de las pulsaciones en enanas blancas y pre-enanas blancas variables. Detección de las pulsaciones, curvas de luz, espectro de Fourier. Distintos tipos de enanas blancas y pre-enanas blancas pulsantes en el diagrama HR y sus períodos característicos.

Misiones espaciales y observación de enanas blancas pulsantes.

8. **DISTINTAS CLASES DE ENANAS BLANCAS PULSANTES.** Clasificación de las enanas blancas pulsantes. Estrellas DAV o ZZ Ceti: características pulsacionales, pureza de la banda de inestabilidad, excitación de modos. Estrellas DBV o V777 Herculis: características pulsacionales, banda de inestabilidad observada, excitación de modos. Estrellas pulsantes PG1159 o GW Virginis: clasificación según posean nebulosa (PNNV) o carezcan de la misma (DOV), dominios de inestabilidad, excitación de modos. Estrellas enanas blancas pulsantes de masa extremadamente baja: ELMVs. Rangos de períodos, excitación de modos, dominio de inestabilidad. Estrellas pulsantes pre-ELMVs: progenitores de las ELMVs, características pulsacionales, diferencias y similitudes con estrellas pulsantes de la secuencia principal (estrellas δ Scuti, etc). Estrellas DAV calientes (hot DAV). Estrellas DQV: naturaleza incierta de sus variaciones. Estrellas enanas blancas pulsantes en sistemas binarios interactuantes: las estrellas GW Librae.

9. **ECUACIONES DIFERENCIALES DE PULSACIONES LINEALES NO-RADIALES ADIABÁTICAS.** Derivación de las ecuaciones diferenciales que gobiernan las pulsaciones estelares lineales, no radiales adiabáticas. Problema diferencial de autovalores y autofunciones. Dependencia angular y dependencia temporal de las autofunciones. Dependencia radial: resolución numérica de las ecuaciones diferenciales.

Formulación adimensional de Dziembowski. Frecuencias críticas: frecuencia de Brunt-Väisälä (“buoyancy”) y frecuencia de Lamb. Características de la frecuencia de Brunt-Väisälä en enanas blancas y su impacto sobre las autofunciones de los modos g . Aproximación de Cowling: análisis local. Diagramas de propagación.

10. **COMPORTAMIENTO ASINTÓTICO DE LOS MODOS g Y EFECTOS DE LA ROTACIÓN ESTCoELAR.** Comportamiento asintótico de los períodos de modos g para modos con ordenes radiales altos. Dependencia del espaciamiento asintótico de períodos con la masa estelar, temperatura efectiva y espesor de las envolturas en enanas blancas. Efectos de rotación lenta y campos magnéticos débiles. Rotación uniforme y rotación diferencial. Splitting rotacional de frecuencias (a primer orden). Dependencia con el grado armónico.

11. **HERRAMIENTAS ASTROSISMOLOGICAS.** Identificación de modos: asignación del grado armónico de los períodos observados. Espaciamiento de períodos de modos g : determinación de la masa estelar.

Desviaciones del espaciamiento uniforme de períodos: efecto de atrapamiento de modos. Impacto de los gradientes de composición química interna sobre el espaciamiento de períodos. Tasa de cambio de períodos: dependencia con la composición química interna. Ajustes de períodos individuales: minimización de funciones de calidad y obtención de modelos astrosismológicos. Derivación de distancias astrosismológicas y validación del modelo astrosismológico.

12. **APLICACIONES A ESTRELLAS PROTOTÍPICAS Y ENSAMBLES DE ESTRELLAS.** La estrella ZZ Ceti G117-B15A: modelo astrosismológico, tasa de cambio de períodos. Astrosismología de un ensamble de estrellas ZZ Ceti: masa astrosismológica promedio, distribución de espesores de la envoltura de H. Observaciones de estrellas ZZ Ceti con la misiones Kepler/K2 y TESS. La estrella V777 Her GD 358: observaciones con TESS, modelo astrosismológico, espaciamiento de períodos, distancia astrosismológica, comparación con distancia astrométrica de GAIA. La estrella GW Vir PG1159-035: análisis astrosismológico, espaciamiento de períodos, splittings rotacionales, tasa de cambio de períodos. Observaciones de estrellas GW Vir con TESS. Astrosismología de estrellas ELMVs, tasa de cambio de períodos, ajustes período a período.

13. **APLICACIÓN DE ENANAS BLANCAS PULSANTES A LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES Y VARIACIÓN DE CONSTANTES FUNDAMENTALES.** Argumento de pérdida de energía en estrellas y la “nueva física” no contemplada en el modelo estándar de la física. Enanas blancas como laboratorios para testear nueva física. Enfriamiento anómalo de enanas blancas: indicios a partir de

la función luminosidad y a partir de la tasa de cambio de períodos de enanas blancas pulsantes. Enfriamiento anómalo por emisión de axiones. Cotas a la masa del axión usando enanas blancas pulsantes. Incertezas en el modelado de la estructura y evolución de enanas blancas, incertezas en el calculo de sus pulsaciones, y en la medición de las tasas de cambio de períodos. Enanas blancas pulsantes DBV y GW Vir como herramientas para poner cotas a la emisividad de neutrinos plasma. Cotas al momento magnético del neutrino usando enanas blancas pulsantes. Cotas a la variación secular de la constante de Newton (G) empleando enanas blancas pulsantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kippenhahn, R; Weigert, A., Weiss, A., 2012, Stellar Structure and Evolution, Springer Verlag
2. Salaris, M., 2005, Evolution of stars and stellar populations, Wiley-VCH
3. Hansen, C., Kawaler, S., Trimble, V., 2004, Stellar interiors: physical principles, structure, and evolution, Springer Verlag
4. Althaus, L., Córscico, A., Jordi, I., García-Berro, E., 2010, Evolutionary and pulsational properties of white dwarf stars, Astronomy and Astrophysics Review, Vol. 18, pag.471
5. Unno, W., Osaki, Y., Ando, H., Saio, H., Shibahashi, H., 1989, Nonradial oscillations of stars, Tokyo: University of Tokyo Press
6. Cox, J.P, 1980, Theory of stellar pulsations, Ed. Princeton University Press
7. Catelan, M., Smith, H. A., 2015, Pulsating Stars (Wiley-VCH)
8. Córscico, A. H., Althaus, L. G., Miller Bertolami, M. M. Kepler, S. O., 2019, Pulsating white dwarfs: new insights, Astronomy and Astrophysics Review, Vol. 27, pag. 7