

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA
ESTRELLAS ENANAS BLANCAS

Carreras: Licenciatura y Doctorado en Astronomía

Carga horaria semanal: 4 hs

Carga horaria total: 128 hs

Carácter: asignatura de grado y posgrado anual

Profesores a cargo: Leandro G. Althaus; Alejandro H. Córscico

Contacto: althaus@fcaglp.unlp.edu.ar; leandroalthaus@gmail.com; acorsico@fcaglp.unlp.edu.ar; alejandrocorsico@gmail.com

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 ESTELAR. 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 ASTROSISMOLÓGICAS. 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 las misiones *Kepler/K2* y *TESS*. La estrella V777 Her GD 358: observaciones con *TESS*, modelo astrosismológico, espaciamento de períodos, distancia astrosismológica, comparación con distancia astrométrica de *GAIA*. La estrella GW Vir PG1159-035: análisis astrosismológico, espaciamento 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 cálculo 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