

# Interiores Estelares

Profesor: Dr. Omar Gustavo Benvenuto

## Programa del curso anual completo

1. Evidencias observacionales. El diagrama de Hertzsprung-Russell, Masa, luminosidad y composición química de las estrellas. Distribución espacial. Poblaciones estelares. Física y astrofísica de neutrinos. Neutrinos electrónicos, muónicos y tauónicos. Telescopios de neutrinos. Detectores radioquímicos y por radiación de Cerenkov. El experimento de  $^{37}\text{Cl}$  de Davis. El detector de Kamiokande.
2. Termodinámica. El concepto de equilibrio termodinámico y de equilibrio termodinámico local (LTE). Primer y segundo principio de la termodinámica. Variables intensivas y extensivas. Energía interna, presión, temperatura, entropía. Energías libres de Helmholtz y de Gibbs. El potencial químico. Condiciones de equilibrio químico.
3. Elementos de Mecánica Estadística. Entropía estadística. Ensembles Microcanónico, Canónico y Gran Canónico. Gases ideales degenerados y no degenerados. Las estadísticas de Boltzmann, Fermi-Dirac y Bose-Einstein. La ley de Saha y sus aplicaciones. Condiciones de degeneración para un gas de Fermi. El caso de temperatura cero. Gases de Fermi a temperatura finita. El desarrollo de Sommerfeld. Calores específicos de los gases. El caso de ionizaciones parciales. El gas de fotones. Interacciones Coulombianas. Teorías de Debye-Hückel y de Wigner-Seitz.
4. Equilibrio hidrostático. Teoría de politrópicas. Masa, radio y densidad media de las esferas politrópicas. El teorema del Virial.
5. Objetos compactos. Teoría de Chandrasekhar de las enanas blancas. La masa límite de Chandrasekhar y su importancia. Estrellas de neutrones. La ecuación de equilibrio hidrostático en Relatividad General. Incertezas en la ecuación de estado de la materia nuclear. La masa límite de las estrellas de neutrones.
6. Conservación de la energía. La ecuación de conservación de la energía en interiores estelares.
7. Transporte radiativo de energía. Campos de radiación levemente anisótropos. Procesos de absorción real y de scattering. Transiciones ligado-ligado, ligado-libre y libre-libre. La ecuación de transporte en la aproximación de difusión. La opacidad de Rosseland. Opacidad de scattering Thompson. Teoría de perturbaciones dependiente del tiempo en Mecánica Cuántica. Transiciones por interacción electromagnética. Reglas de selección. Las opacidades OPAL. Opacidades moleculares para el caso de bajas temperaturas.
8. Transporte convectivo. El criterio de estabilidad de Schwarzschild. Sobradiabaticidad. La teoría de longitud de mezcla. Incertezas asociadas. Impacto de las incertezas en el conocimiento de la estructura estelar. Convección central y convección superficial.
9. Transporte conductivo. Procesos de interacción en un medio degenerado. Opacidad conductiva.
10. Reacciones nucleares. Energética de las reacciones nucleares. Secciones eficaces de reacción. El factor de Gamow. Tasas de reacción. Reacciones no resonantes. Reacciones resonantes.
11. Principales ciclos de reacciones nucleares en el interior estelar. El ciclo Protón-protón. El ciclo Carbono-Nitrógeno-Oxígeno. Quema de Helio. Ecuaciones de evolución de las abundancias isotópicas.
12. Solución de las ecuaciones de la evolución estelar. Desarrollos en el centro y la superficie estelar. Método de ajuste (fitting). Método de relajación de Henyey. Propiedades de las ecuaciones de diferencias. Estabilidad numérica.
13. Formación estelar. Masa de Jeans. Fragmentación. El modelo de Larson. El recorrido

- evolutivo de Hayashi. Evolución en pre-secuencia principal. El concepto de isócrona. Procesos nucleares en el final de la pre-secuencia principal.
14. Secuencia principal de hidrógeno. Masas máxima y mínima. Quema de hidrógeno. Pérdida de masa. Otras secuencias principales y su relevancia.
  15. Etapas avanzadas de la evolución estelar. El caso de baja masa. Flash de helio. Rama horizontal. Pulsos térmicos. Vientos estelares. Etapa de pre-enana blanca y de enana blanca. El modelo de Mestel. El caso de masas intermedias.
  16. Estrellas de gran masa. Etapas avanzadas de quema de carbono, neón, oxígeno y silicio. Estado de pre-supernova.
  17. Explosiones de supernova. Supernovas de tipo Ia. Procesos de combustión: deflagración y detonación. Supernovas por colapso gravitatorio. Rebote hidrodinámico. El efecto de la radiación de neutrinos. Formación de proto-estrellas de neutrones. Curvas de luz de supernovas.
  18. Formación de elementos pesados. Procesos de captura de neutrones. Secciones eficaces de captura neutrónica. Núcleos mágicos. Proceso lento y proceso rápido. Fuentes de neutrones libres.

En las versiones semestrales, a Interiores estelares I le corresponden los tópicos del 1 al 9 y Interiores estelares II le corresponde el resto, del 10 al 18

#### Bibliografía

- Kippenhahn, R., Weigert, A. 1994. *Stellar Structure and Evolution*. Stellar Structure and Evolution, XVI, 468 pp. 192 figs.. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Also Astronomy and Astrophysics Library .
- Clayton, D. D. 1968. *Principles of stellar evolution and nucleosynthesis*. New York: McGraw-Hill.
- Chandrasekhar, S. 1939. *An introduction to the study of stellar structure*. Chicago, Ill., The University of Chicago press.
- Shapiro, S. L., Teukolsky, S. A. 1983. *Black holes, white dwarfs, and neutron stars: The physics of compact objects*. Research supported by the National Science Foundation. New York, Wiley-Interscience.

Contacto: [obenvenu@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:obenvenu@fcaglp.unlp.edu.ar)