

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA
INTERIORES ESTELARES

CARRERA: LICENCIATURA EN ASTRONOMÍA

CARGA HORARIA SEMANAL: 4 HORAS DE TEORÍA Y 3 HORAS DE PRÁCTICA

CARÁCTER: ANUAL

PROFESOR A CARGO: DR. OMAR GUSTAVO BENVENUTO

OBJETIVOS

El curso de Interiores Estelares en su modalidad anual tiene como objetivo fundamental presentar la teoría de estructura y evolución estelar desde un punto de vista introductorio. En esta Cátedra asumimos que la inmensa mayoría de nuestros alumnos cursan la materia a los efectos de conocer las bases de la evolución estelar que necesitarán en sus futuras investigaciones aplicando estos conceptos en otras ramas de la Astrofísica. Por lo tanto, nuestro esfuerzo está orientado a proveerles dichas herramientas.

La primera parte del curso está dedicada a describir la mayoría de los conceptos fundamentales de la física relevante para el interior estelar (hasta el punto 9 del contenido temático). Dichos conceptos se introducen desde un punto de vista cuantitativo detallado, utilizando conceptos de mecánica analítica, termodinámica y mecánica cuántica que el alumno debería haber adquirido previamente.

La segunda parte del curso (desde el punto 10 del contenido temático en adelante) comienza con la presentación de los conceptos básicos de astrofísica nuclear y los principales ciclos nucleares que ocurren en las estrellas. De ahí en adelante el curso presenta la evolución estelar de objetos aislados desde la formación estelar hasta las etapas finales. Se detallan las etapas de evolución de estrellas de masas baja, intermedia y alta basando las presentaciones en los resultados de simulaciones numéricas detalladas.

Para poder mantener el carácter introductorio del curso es necesario restringirse a la parte más elemental de esta teoría. Por lo tanto, situaciones de gran interés astrofísico como la evolución estelar en sistemas binarios, pulsaciones estelares, la rotación estelar y sus efectos sobre la evolución, etc. no son abordadas ya que corresponden a cursos de posgrado.

CONTENIDO TEMÁTICO

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}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 Maxwell-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 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. Sobreadiabaticidad. La teoría de longitud de mezcla (MLT). 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. Procesos nucleares avanzados: Quemados de Carbono, Neón, Oxígeno y Silicio.

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. Etapas 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. Condiciones astrofísicas para la ocurrencia del proceso lento. El proceso rápido y las kilonovas.

BIBLIOGRAFÍA

Chandrasekhar, S. 1939. An introduction to the study of stellar structure. Chicago, The University of Chicago press.

Clayton, D. D. 1968. Principles of stellar evolution and nucleosynthesis. New York, McGraw-Hill.

Kippenhahn, R., Weigert, A. 1994. Stellar Structure and Evolution. Stellar Structure and Evolution, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

Shapiro, S. L., Teukolsky, S. A. 1983. Black holes, white dwarfs, and neutron stars: The physics of compact objects. New York, Wiley-Interscience.