



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONÓMICAS Y GEOFÍSICAS

## ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA TEÓRICA

### 1. Revisión de la termodinámica y ecuaciones de estado

Revisión de conceptos de termodinámica. Leyes de la termodinámica. Gases ideales: energía interna, calores específicos. Proceso adiabático: exponentes de Chandrasekhar. Proceso politrópico: casos límites. Mezcla de gases: peso molecular medio. Radiación y materia. Comportamiento adiabático de una mezcla de gas ideal y radiación. Estadística de Fermi–Dirac y Einstein–Bose. Parámetro de degeneración. Materia no–degenerada: estadística de Maxwell–Boltzmann. Densidad numérica de partículas, presión y densidad de energía. Degeneración completa: gas de fermiones a  $T = 0$ . Casos relativista, no–relativista y ultra–relativista. Ejemplos astrofísicos. Gas de fotones: distribución de Planck. Ecuación de estado de la materia estelar “normal”. Diagrama  $\log \rho - \log T$ : regiones de degeneración, modelos estelares.

### 2. Teoría del Potencial

Ley de Newton y campo gravitatorio. Potencial escalar y vectorial. Potencial gravitatorio. Ley de Gauss. Ecuación de Laplace y Poisson. Energía potencial gravitatoria. Potencial de un sistema esférico. Modelos de potenciales representativos de sistemas estelares. Parámetros.

### 3. Hidrodinámica

Ecuación de continuidad y de Euler. Formulación de Lagrange y de Euler. Perturbaciones a fluidos homogéneos no autogravitantes: ondas sonoras. Perturbaciones a fluidos homogéneos autogravitantes: inestabilidad de Jeans. Longitud de onda y masa de Jeans. Interpretación astrofísica.

### 4. Introducción a la estructura estelar

Escalas de tiempo. Ecuaciones básicas y equilibrio hidrostático. Cota para la presión central. Teorema del Virial. Aplicaciones. Escala de distancias en las atmósferas. Modelos estelares simples: modelo lineal y politrópicos. Ecuación de Lane–Emden. Soluciones. Esfera isoterma.

### 5. Transporte de Energía

Transporte radiativo. Acoplamiento materia–radiación. Descripción macroscópica del campo de radiación. Intensidad específica, intensidad media, flujo y presión de radiación. Densidad de energía. Opacidad y emisividad. Principales mecanismos de absorción continua. Coeficientes de opacidad y emisividad. Función fuente. Ecuación de transporte radiativo. Geometría plana y esférica. Solución formal. Equilibrio termodinámico, opacidad media de Rosseland. Límite de Eddington para la luminosidad. Equilibrio termodinámico local I. Ecuación de liberación de energía. Equilibrio radiativo. Modelos simplificados de atmósferas. Modelo de atmósfera gris. Aproximación de Eddington. Ley de oscurecimiento al borde. Equilibrio termodinámico local II. Tratamiento del transporte convectivo. Criterio de estabilidad de Schwarzschild. Energía transportada por convección.

## 6. Fuentes de energía nuclear

Reacciones nucleares. Cinemática de la reacción. Energía involucrada en una reacción. Sección eficaz y rate de la reacción. Rate de reacciones no resonantes. Factor de Gamow. Liberación de energía termonuclear.

## 7. Cosmología Newtoniana

Corrimiento al rojo de las galaxias y expansión del Universo. Ley de Hubble. Principio cosmológico. Modelo cosmológico Newtoniano. Densidad crítica. Soluciones para  $\Omega < 1, \Omega = 1, \Omega > 1$ , interpretación física de las soluciones. Discusión de materia-energía oscura.

## 8. Órbitas estelares

Órbitas en potenciales esféricos. Solución general. Períodos radial y azimutal. Órbitas periódicas, resonancias. Aproximación epicíclica. Órbitas en potenciales sin simetría central. Órbitas *loop* y *box*: aproximación del péndulo. Nociones de integrabilidad y no integrabilidad del potencial.

## 9. Equilibrio de sistemas sin colisiones

Tiempo de relajación. Ecuación de Boltzmann sin colisiones. Interpretación física. Teoremas de Jeans. Distribuciones dependientes sólo de la energía y de la energía y el momento angular.

## Bibliografía

- Nota de Teoría
- Binney, J. & Tremaine, S., 1987, *Galactic dynamics* (Princeton: Princeton U.P.)
- Bowers, R. & Deeming, T., 1984, *Astrophysics Vols. I y II* (Boston: Jones and Barlet) **básico**
- Callen, H. B., 1985, *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics* (Univ. of Pennsylvania, Eds: J. Wiley & Sons, Inc.)
- Chandrasekhar, S., 1938, *An Introduction to the Study of Stellar Structure* (The Univ. of Chicago Press)
- Chandrasekhar, S., 1960, *Radiative Transfer* (New York: Dover)
- Clayton, D. D., 1983, *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis* (The Univ. of Chicago Press)
- Fermi, E. *Thermodynamics*
- Hansen, C. J. & Kawaler, S. D., 1994, *Stellar Interiors: Physical principles, Structure and Evolution* (A&A Library, New York: Springer-Verlag)
- Huang, K., 1963 *Statistical Mechanics* (Eds: J. Wiley & Sons, Inc.)
- Lang, K. R., 1980 *Astrophysical Formulae* (Eds: Springer-Verlag)
- Kippenhahn, R. & Weigert, A., 1991, *Stellar Structure and Evolution* (A&A Library, Berlin: Springer-Verlag)
- Mihalas, D., 1978, *Stellar Atmospheres* (San Francisco: Freeman)
- Schwarzschild, M., 1958, *The Structure and Evolution of the Stars* (Princeton: Princeton U.P.)

**Profesores: Pablo M. Cincotta - Jorge A. Panei**

19/may/2017