

# Posgrado de Astrofísica INAOE

## Radiación - temario

Alberto Carramiñana

20 de agosto de 2018

### 1. Ondas electromagnéticas

- 1.1. Electrodinámica clásica
  - 1.1.1. Ecuaciones Maxwell
  - 1.1.2. Ecuación de continuidad
  - 1.1.3. Fuerza de Lorentz y teorema de Poynting
  - 1.1.4. Potenciales electromagnéticos
- 1.2. Ondas electromagnéticas en el vacío
  - 1.2.1. Ecuación de onda
  - 1.2.2. Polarización
  - 1.2.3. Espectro electromagnético
- 1.3. Ondas electromagnéticas en un plasma
  - 1.3.1. Dispersión por electrones en un plasma
  - 1.3.2. Propagación de ondas en un plasma
  - 1.3.3. Medida de dispersión
  - 1.3.4. Rotación de Faraday

### 2. Transferencia radiativa

- 2.1. Definiciones
  - 2.1.1. Intensidad y cantidades derivadas
  - 2.1.2. Relación con ondas electromagnéticas
- 2.2. La ecuación de transferencia radiativa
  - 2.2.1. Emisión espontánea
  - 2.2.2. Absorción y emisión inducida

- 2.2.3. La ecuación de transporte radiativo y soluciones
- 2.3. Radiación en equilibrio termodinámico
  - 2.3.1. La ley de Kirchhoff
  - 2.3.2. La radiación de cuerpo negro
  - 2.3.3. Ley de Kirchhoff y radiación térmica
- 2.4. Los coeficientes de Einstein
- 2.5. Dispersión
- 2.6. Atmósferas plano paralelas
  - 2.6.1. La ecuación de difusión radiativa
  - 2.6.2. Aproximación de Eddington y atmósfera gris
  - 2.6.3. La solución de Simonneau para el espectro de una atmósfera plano-paralela
- 3. Termodinámica y mecánica estadística**
  - 3.1. Las leyes de la termodinámica
  - 3.2. Mecánica estadística
    - 3.2.1. Descripción estadística de un sistema
    - 3.2.2. Sistemas en equilibrio y función de partición
    - 3.2.3. Gas ideal clásico
  - 3.3. Gases cuánticos
    - 3.3.1. Función de partición de un ensemble gran canónico
    - 3.3.2. Aplicación a un gas de fotones
    - 3.3.3. Gas ideal de fermiones en degeneración
  - 3.4. Reacciones en equilibrio
    - 3.4.1. La ley de acción de masas
    - 3.4.2. Ley de Boltzmann
    - 3.4.3. Ecuación de Saha
- 4. Teoría clásica de procesos radiativos**
  - 4.1. Elementos de relatividad especial
    - 4.1.1. Sistemas de referencia inercial
    - 4.1.2. Postulados de la relatividad
    - 4.1.3. Transformaciones de Lorentz
    - 4.1.4. Consecuencias de la relatividad especial

- 4.1.5. Cuadrivectores
- 4.1.6. Fotones, efecto Doppler y distorsión de haces
- 4.1.7. Campos electromagnéticos
- 4.1.8. Mecánica relativista y fuerza de Lorentz
- 4.2. Campos de una carga en movimiento
  - 4.2.1. Carga en reposo y en movimiento rectilíneo uniforme
  - 4.2.2. Potenciales de Liénard-Wiechert
  - 4.2.3. Fórmula de Larmor y distribución angular de la radiación
  - 4.2.4. Distribución espectral de la radiación
- 4.3. Sistemas de cargas en movimiento
  - 4.3.1. Aproximación dipolar
  - 4.3.2. Expansión multipolar
- 4.4. Bremsstrahlung
  - 4.4.1. La deflexión de un electrón por un núcleo
  - 4.4.2. Aproximación para deflexiones pequeñas
  - 4.4.3. Bremsstrahlung clásico: movimiento hiperbólico
  - 4.4.4. Bremsstrahlung térmico
  - 4.4.5. Absorción libre-libre
  - 4.4.6. Bremsstrahlung relativista
- 4.5. Radiación sincrotrón
  - 4.5.1. Carga en un campo magnético uniforme
  - 4.5.2. Radiación sincrotrón por un electrón
  - 4.5.3. Radiación sincrotrón por una población de electrones
  - 4.5.4. Auto-absorción
- 4.6. Efecto Compton
  - 4.6.1. Dispersión de Thomson
  - 4.6.2. El efecto Compton
  - 4.6.3. Efecto Compton inverso
- 4.7. Procesos de altas energías
  - 4.7.1. Reacciones, canales, diagramas
  - 4.7.2. El canal de Compton
  - 4.7.3. Reacciones de un vértice

## 5. Teoría cuántica de procesos radiativos

- 5.1. El formalismo Hamiltoniano de la mecánica clásica
  - 5.1.1. Coordenadas generalizadas y ecuaciones de Hamilton
  - 5.1.2. Cuatro ejemplos clásicos
- 5.2. Elementos de mecánica cuántica
  - 5.2.1. Los postulados de la mecánica cuántica
  - 5.2.2. Estados estacionarios
  - 5.2.3. Sistemas cuánticos básicos
  - 5.2.4. Métodos aproximados para resolver la ecuación de Schrödinger
- 5.3. Estructura cuántica de átomos y moléculas
  - 5.3.1. Átomos hidrogenoides
  - 5.3.2. Estructura fina e hiperfina
  - 5.3.3. Átomos con varios electrones
  - 5.3.4. Moléculas diatómicas
- 5.4. Transiciones radiativas
  - 5.4.1. Método de perturbaciones dependientes del tiempo
  - 5.4.2. Hamiltoniano con campo electromagnético
  - 5.4.3. Aproximación dipolar
  - 5.4.4. Coeficientes de Einstein
  - 5.4.5. Reglas de selección
  - 5.4.6. Transiciones híbridas

## Bibliografía

- Notas del curso: <http://www.inaoep.mx/~alberto/cursos/>
- Textos
  - Rybicki, G.B. & Lightman, A.P. “*Radiation processes in astrophysics*”, ed John Wiley & Sons, 1979
  - Shu, F.H., “*The physics of astrophysics: Vol.I Radiation*”, University Science Books, 1991
- Libros de consulta sobre temas específicos o de interés general
  - Landau, L.D., Lifshitz, E.M., “*The classical theory of fields*”, ed. Pergamon Press
  - Jackson, J.D. “*Classical electrodynamics*”, John Wiley & Sons, 2nd edition, 1975
  - Heitler, W. “*The quantum theory of radiation*”, ed. Dover 1984 (reimpresión de la edición de 1954!)
  - Longair, M., “*High energy astrophysics, vol 1: Particles, photons and their detections*”, ed. Cambridge
  - Tucker, W.H., “*Radiation processes in astrophysics*”, MIT Press, 1975
  - Herzberg G., “*Atomic spectra and atomic structure*”, ed Dover
  - García-Colín L., “*Introducción a la termodinámica clásica*”, ed. Trillas (1980)
  - Callen H.B., “*Termodinámica*”, editorial AC, 1981
  - Weinberg, S., “*Gravitation and cosmology*”, ed. John Wiley, 1973
  - Landau “*Quantum Mechanics*”, ed. Pergamon
  - Cohen-Tannoudji C., Diu B., Laloë F., “*Quantum Mechanics*”, ed Wiley
  - Reif F., “*Fundamentals of statistical and thermal physics*”, Mc Graw-Hill, 1985
  - Taylor E.F. & Wheeler J.A., “*Spacetime physics*”, W.H. Freeman and Co., 2ª edición, 1966
  - Goldstein, H., “*Classical mechanics*”, 2nd edition, ed. Addison Wesley

- Berestetskii, Lifshitz & Pitaevskii, “*Quantum electrodynamics*” , ed Pergamon Press (sección 5d)
  - Longair, M., “*High energy astrophysics, vol 2: stars, the Galaxy and the interstellar medium*”, ed. Cambridge
  - Ginzburg, V.L. “*Theoretical physics and astrophysics*”, Pergamon Press, 1979
  - Shu, F.H., “*The physical Universe. An introduction to Astronomy*”, University Science Books, 1982
  - Marsden, J.E., Tromba, A.J., “*Cálculo Vectorial*”, Fondo Educativo Interamericano, 1981.
- Una lectura
    - “La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica 1894-1912”, Thomas S. Kuhn, ed. Alianza Editorial.