Astrofísica Relativista

(http://www.astroscu.unam.mx/∼sergio/gravitacion)

Sergio Mendoza <sergio@astroscu.unam.mx>
Instituto de Astronomía, UNAM

2do semestre, 2006 Facultad de Ciencias UNAM

- ⋆ *Sugerencias para el curso.* O bien, cursos que se recomienda haber llevado.
  - ★ Haber cursado todos los cursos del semestre I al semestre VII del plan 2001 (igual para el plan 1968) de la carrera de Física.
  - ★ Las experiencias pasadas muestran que entre mas avanzado estes en la carrera de física, mejor entenderás el curso. Ciertamente, todas tus materias de matemáticas deben haber sido cubiertas. Lo único que se puede hacer es que estes llevando la asignatura de Matemáticas Avanzadas de la Física en el semestre en curso (equivalentemente FETI para el plan 1968).
  - ★ En el calendario actual de la carrera de Física se incluye la materia de Relatividad en el último semestre. No es necesario de ninguna manera que hayas llevado este curso. Sin embargo, ¡te apoyará excesivamente a lo largo del camino el haberlo cursado!!! Lo cierto es que debes saber bien diversos conceptos de Relatividad Especial que se cubren en otras materias a lo largo de la carrera. Durante el semestre solamente impartiré un repaso breve con respecto a la Relatividad Especial.
- ⋆ *El curso es de astrofísica teórica.* El diccionario de física de Oxford define a la astronomía como la ciencia que estudia el universo mas allá de la atmósfera terrestre. Sus distintas ramas son astrometría, mecánica celeste y astrofísica. Astrofísica es la parte de la astronomía que estudia los procesos físicos asociados con cuerpos celestes y las regiones que los rodean en el espacio. En otras palabras, la astronomía es la ciencia básica que abarca toda la exploración del espacio. La astrofísica es la rama de la astronomía que estudia la física de estrellas, planetas, agujeros negros, etc. así como su evolución. Sin embargo, esto no significa que la astrofísica no sea experimental (u observacional como se le llama frecuentemente). Es justamente la parte teórica de la astrofísica la

que se analizará en este curso, particularmente aquella enfocada a fenómenos gravitacionales. Así pues, en este curso se utilizará una maquinaria matemática avanzada así como distintos conocimientos de la física teórica, que ya te han sido proporcionados a lo largo de la Licenciatura de Física.

⋆ *Temario*

(I) **Introducción a la Astrofísica.**

- ★ *Historia.* Conceptos cosmológicos en Mesoamérica, Europa y Asia. Los Griegos. El renacimiento. Primeros telescopios. Copérnico, Galileo, Tycho, Kepler, etc. La época actual. Historia de la astrofísica relativista.
- ★ *Constituyentes del universo.* Estrellas. Planetas. Galaxias. Cúmulos de galaxias. Radiación. Partículas exóticas.
- ★ *Conceptos básicos.* Tamaños. Distancias. Velocidades. Masas. Luminosidades.
- ★ *Radiación de fondo.* Radiación de fondo en óptico, infrarrojo, microondas, radio, ultravioleta, rayos–X y rayos gamma.

(II) **Conceptos básicos relativistas.**

- ★ *Relatividad.* Vectores y tensores en el espacio Euclidiano de 3D. Principio de Relatividad. Relatividad del tiempo. Intervalos. Tiempo propio. Transformaciones de Lorentz. Cuatro vectores. Mecánica Relativista.
- ★ *Electromagnetismo.* Función de acción para una carga en el campo electromagnético. Ecuaciones de movimiento en el campo electromagnético (Ecuación de Lorentz). Tensor electromagnético. Función de acción en el campo electromagnético. Ecuaciones de Lorentz y Maxwell. Ondas electromagnéticas y efecto Doppler.
- ★ *Hidrodinámica Relativista.* Tensor energía–momento para cuerpos macroscópicos. Principio de Pascal. Ecuaciones de continuidad y de campo. Hidrodinámica no–relativista. Cosmología Newtoniana.

(III) **Estrellas**

- ★ *Evolución estelar.* Formación estelar. Criterio de Jeans. La física de las estrellas. Ecuaciones de evolución y estructura estelar.
- ★ *Inestabilidades.* Teorema escalar del virial. Teorema tensorial del virial. Presión de radiación. Límite de Eddington.
- ★ *Al final de la evolución.* Supernovas. Enanas blancas. Límite de Chandra-

sekhar. Estrellas de Neutrones y límite de masa. Estrellas de quarks y límite de masa. Pulsares.

(IV) **Acreción.**

- ★ *Acreción hacia un objeto central.* Acreción de Bondi. Acreción con rotación de Ulrich.
- ★ *Discos de acreción.* Modelos de Shakira–Sunayev. Discos α. Discos de acreción alrededor de estrellas.
- ★ *Sistemas binarios.* Pulsares de rayos–X. Acreción de Röche–Lobe.

(V) **Gravitación Relativista.**

- ★ *Introducción a la Relatividad General (RG).* Necesidad de una teoría relativista de la gravitación. Experimento de Eötvös. Principio de equivalencia general (fuerte y débil). Necesidad y ejemplos de espacios curvos.
- ★ *Formalismo.* Diferenciación covariante. Símbolos de Christoffel. Ecuación geodésica. Transporte paralelo. Tensor de curvatura. Tensor de Ricci. Escalar de Ricci. Función de acción para el campo gravitacional. Tensor energía–momento para el campo gravitacional. Las ecuaciones de Einstein para el campo gravitacional.

(VI) **Agujeros negros.**

- ★ *Métrica de Schwarzschild.* Motivación e historia. Análisis de la métrica. Definición de agujero negro. Movimiento de una partícula. Invariantes de movimiento. Agujeros negros en general. Agujeros negros de Kerr. Máxima energía emitida por agujeros negros. Radiación de Hawking–Zeldovich. Extracción de energía de un agujero negro. Proceso de extracción de Penrose. Proceso Blandford–Znajek.
- ★ *Agujeros Negros en astrofísica.* Propiedades. Agujeros negros en binarias–X. Galaxias activas. Agujeros negros supermasivos. Discos de acreción en Núcleos Activos de Galaxias. Jets en distintos objetos astronómicos. Fuentes superlumínicas. Colapso gravitacional y ondas gravitacionales.

(VII) **Cosmología.**

- ★ *Métrica de Robertson–Walker.* Ley de Hubble, isotropía y homogeneidad del universo. Curvatura espacial, Corrimiento al rojo. Parámetro de deceleración. Mediciones de distancia. Radiación de fondo. Paradoja de Olbers.

- ★ *Modelo estandard de Friedman.* Soluciones, constante cosmológica. Horizontes. Problema de aplanado e isotropía.
- ★ *Constituyentes del Universo.* Materia y radiación. Materia oscura en galaxias y en cúmulos. Lentes gravitacionales. Teorema virial (no–relativista y relativista). Energía oscura.
- ★ *Formación de galaxias.* Clasificación de Hubble. Momento angular. Halos de materia oscura. Origen de perturbaciones. Análisis de Jeans en un universo en expansión.
- ★ *Radiación cósmica de fondo en microondas.* Evolución de un espectro de cuerpo negro. Recombinación y escalas de tiempo. Edades de estrellas y galaxias.
- ★ *Universo temprano.* Nucleosíntesis, asimetría bariónica, inflación, materia oscura, teorías de gran unificación. La época de Planck y mas alla...

⋆ *Exámenes y tareas.*

- ★ Las tareas cuentan 50 % de la calificación final del curso. Deben ser entregadas **antes de dos semanas** posteriores al recibirse.
- ★ Habrá **un solo** examen para llevar a casa. Este contará el 30 % de la calificación final. Las reglas para este examen son las siguientes. Las preguntas del examen serán entregadas un viernes a las 9.00hrs y deberán ser regresadas antes del siguiente lunes a las 12.00hrs.
- ★ Examen de conocimientos teóricos en clase. Contará el 20 % de la calificación final del curso. Este examen se llevará a cabo al final del semestre. Incluye todo el material del curso y tendrá una duración de cuatro horas.
- ★ El curso se acredita con un promedio total de 5.0. En otras palabras, la calificación de 5.0 se considera como 6.0. Los demás números quedan igual y el redondeo se hace de tal manera que fracciones iguales o mayores a 0.5 suben al entero superior inmediato. Por ejemplo, una calificación final de 8.5 se convierte en 9.0 para actas. La calificación de 8.3 se convierte en 8.0 y una calificación de 8.7 saldrá en actas como 9.0.

⋆ *Bibliografía*

(A) Esencial para el curso.

- ★ Landau, L. & Lifshitz, E., 1994b. *Mechanics*, vol. 1 of *Course of Theoretical Physics*. Pergamon, 3rd ed
- ★ Landau, L. & Lifshitz, E., 1994a. *The Classical Theory of Fields*, vol. 2 of *Course of Theoretical Physics*. Pergamon, 4th ed
- ★ Landau, L. & Lifshitz, E., 1987. *Fluid Mechanics*, vol. 6 of *Course of Theoretical Physics*. Pergamon, 2nd ed
- ★ Longair, M., 1992a. *High Energy Astrophysics*, vol. 1. Cambridge University Press
- ★ Longair, M., 1992b. *High Energy Astrophysics*, vol. 2. Cambridge University Press
- ★ Padmanabhan, T., 2000. *Theoretical Astrophysics, Volume I: Astrophysical Processes*. Cambridge University Press. ISBN 0521566320
- ★ Padmanabhan, T., 2001. *Theoretical Astrophysics, Volume II: Stars and Stellar Systems*. Cambridge University Press. ISBN 0521562414
- ★ Padmanabhan, T., 2002. *Theoretical Astrophysics, Volume III: Galaxies and Cosmology*. Cambridge University Press. ISBN 0521562422

(B) Extra.

- ★ Binney, J. & Tremaine, S., 1997. *Galactic Dynamics*. Princeton University Press
- ★ Longair, M., 1998. *Galaxy Formation*. Cambridge University Press
- ★ Misner, C. W., Thorne, K. S. & Wheeler, J. A., 1973. *Gravitation*. W H Freeman & Co

(C) Para antes de dormir.

- ★ Longair, M., 1996. *Our evolving Universe*. Cambridge University Press
- ★ Landau, L. & Rumer, I. B., 1960. *What is Relativity?*. Basic Books, 1st ed