

Tema selecto Posgrado en Física

Rayos cósmicos ultra-energéticos

Dr. G. A. Medina Tanco
Instituto de Ciencias Nucleares

Objetivo

Los rayos cósmicos de las más altas energías constituyen una de las fronteras más exploradas de la física de partículas y de la astrofísica. Esta área de investigación ha crecido mucho en los últimos años impulsada fundamentalmente por el desarrollo de grandes experimentos, como ser AGASA, HiRes, Auger y JEM-EUSO. México participa activamente de los dos últimos experimentos: Auger, el mayor del mundo en su tipo y ya en operación y JEM-EUSO, un experimento espacial, actualmente en fase de diseño, que constituirá el primero de una nueva generación de detectores orbitales.

El objetivo de este curso es ofrecer al estudiante una visión general de los tópicos de frontera de rayos cósmicos, con un énfasis especial en aquellos de energías ultra-altas, en un contexto astrofísico. Se analizará al origen cósmico de las diversas partículas relativísticas involucradas, sean ellas observadas o hipotéticas, sus mecanismos de producción, aceleración, propagación e interacciones con los campos y fondos de partículas y radiación que permean los diferentes medios. El curso incluirá tanto aspectos teóricos como fenomenológicos y experimentales de rayos cósmicos, complementados con una breve introducción a aspectos relevantes de astrofísica Galáctica y extragaláctica. Las actividades prácticas incluirán el análisis físico de datos reales, evaluación de anisotropía en diversas escalas angulares y su correlación con posibles fuentes astrofísicas.

El programa general será actualizado permanente con el objetivo de reflejar en cada edición del curso los descubrimientos más recientes en el área.

Programa

1. Fundamentos astrofísicos

- a. Estructura y fases del medio interestelar.
- b. Campo magnético Galáctico.
- c. Medio intergaláctico: campos magnéticos, fondos de fotones.

2. Rayos cósmicos Galácticos

- a. Introducción histórica.
- b. Observaciones: espectro de energía, composición química, anisotropía.
- c. Mecanismos de producción y aceleración.
- d. Formación de la rodilla a energía de PeVs.
- e. Propagación: procesos difusivos, desintegración nuclear por colisiones.
- f. Confinamiento magnético.
- g. Métodos de detección directa e indirecta.
- h. Inferencia de parámetros astrofísicos a través de la combinación de datos experimentales y soluciones simplificadas de la ecuación de difusión.

3. Rayos cósmicos extragalácticos

- a. Introducción histórica.
- b. Posibles mecanismos de producción y aceleración: top-down vs. bottom-up.
- c. Propagación: bariones y fotones: radiación de cósmica de fondo y el corte GZK; núcleos pesados: interacción con el fondo IR y fragmentación nuclear; campos magnéticos cósmicos y anisotropía a diversas escalas; defectos topológicos: manifestaciones espectrales a muy altas energías.
- d. Neutrinos cosmogénicos: producción, abundancia, detección e implicaciones astrofísicas.
- e. Observaciones recientes: espectro de energía, abundancia, anisotropía
- f. Implicaciones para la física de partículas y la astrofísica de los datos experimentales más recientes.

4. Región de transición

- a. Cambio del régimen de propagación difusivo a balístico en el flujo Galáctico
- b. Formación de la segunda rodilla del espectro.
- c. Modelos para la formación del “dip” en el espectro.

- d. Deconvolución de los flujos Galácticos y extragaláctico en la región de transición.
 - e. Determinación de perfiles de composición química.
 - f. Posible existencia de fuentes Galácticas de aceleración de partículas a $E > 10^{18}$ eV.
 - g. Nuevos métodos de diagnóstico y experimentos en curso para el estudio de esta región espectral.
5. Tópicos experimentales de rayos cósmicos ultra-energéticos
- a. Física de interacciones y propagación de chubascos atmosféricos extensos
 - b. Ecuaciones de transporte para cascadas electromagnéticas y hadrónicas; aproximaciones analíticas.
 - c. Técnicas de detección: revisión de técnicas experimentales en función de la energía; detectores de superficie; detectores de fluorescencia; experimentos de ultra-alta energía;
 - d. Detección de rayos cósmicos ultra energéticos desde el espacio.

Bibliografía

Libros:

1. High energy cosmic Rays, T. Stanev, Sringer, 2004.
2. Cosmic Rays and Particle Physics, T. K. Gaisser (Cambridge University Press, 1990) Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics}, Lecture Notes in Physics, vol. 60, Third Edition, R. N. Mohapatra y P. B. Pal (World Scientific, 2004).
3. Cosmic Ray Astrophysics, R. Schlickeiser, Springer-Verlag, 2002.
4. Physics and Astrophysics of Ultra-high Energy Cosmic Rays, M. Lemoine & G. Sigl (eds.), Springer-Verlag, 2001.
5. Topics in Cosmic Ray Astrophysics, M. Duvernois (ed.), Nova Sci. Publ. Inc., 2000.
6. Astrophysics of Cosmic rays, V. Berezhinskii et al., North-Holland, 1990.
7. Cosmic Rays in the Earth's Atmosphere and Underground, Lev I. Dorman, Springer, 2004.
8. Cosmic Rays at Earth, P. K. F. Grieder, Elsevier Sci., 2001.
9. High Energy Astrophysics, M. Longair, Vol. I y II.
10. Astroparticle Physics, C. Grupen et al., Springer, 2005.
11. Cosmic Magnetic Fields, R. Wielebinski and Rainer Beck, Springer, 2005.

Material complementario:

12. Las más recientes publicaciones en el área en la forma de *papers*, *reviews* y notas técnicas experimentales
13. Acceso a datos reales del experimentos Pierre Auger y de simulaciones numéricas de experimentos e nueva generación en construcción/planeamiento (p. ej., BATATA, AMIGA, HEAT y JEM-EUSO).