

EX-2026-00088647- -UNC-ME#FAMAF

PROGRAMA DE ASIGNATURA	
ASIGNATURA: Relatividad numérica	AÑO: 2026
CARÁCTER: Especialidad	UBICACIÓN EN LA CARRERA: 5° año 1° cuatrimestre
CARRERA: Licenciatura en Física	
RÉGIMEN: Cuatrimestral	CARGA HORARIA: 120 horas

FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS

La relatividad numérica constituye hoy una de las herramientas fundamentales para el estudio de la física de los sistemas auto-gravitantes en el régimen no-lineal de la relatividad general.

El desarrollo de formulaciones bien puestas de las ecuaciones de Einstein, junto con el avance en técnicas de integración numérica y en el poder de cómputo, ha permitido abordar con precisión fenómenos de alta energía como la coalescencia de agujeros negros y estrellas de neutrones, la generación de ondas gravitacionales, la dinámica de plasmas relativistas y la emisión electromagnética en entornos extremos. El presente curso tiene como propósito proporcionar una introducción a los fundamentos teóricos y metodológicos de la relatividad numérica, así como en los aspectos esenciales de la astrofísica relativista. Se busca que el estudiante desarrolle la capacidad de aplicar estas herramientas al estudio de procesos astrofísicos en objetos compactos tales como agujeros negros, estrellas de neutrones y sistemas binarios, con especial énfasis en la conexión con observaciones actuales.

CONTENIDO

1. Repaso de conceptos de relatividad general.

Agujeros negros. Ecuaciones TOV. Estrellas de neutrones; ecuaciones de estado. Radiación gravitacional.

2. Formulación 3+1 de ecuaciones de Einstein.

Descomposición 3+1: Foliaciones; Curvatura Extrínseca. Ecuaciones Gauss-Codazzi; Ecuaciones de Vínculo y Evolución. Ecuaciones ADM. Condiciones de Gauge: maximal slicing, gauge armónico.

3. Datos iniciales.

Clasificación de PDEs. Transformaciones conformes. Descomposición conforme transverse-traceless. Descomposición conforme thin-sandwich. Masa, momento y momento angular.

4. Formulaciones de relatividad numérica.

Problemas bien puestos e hiperbolicidad. Formulación BSSN; formulación armónico generalizado; formulación Bona-Masso Z4/CCZ4. Extracción de Ondas Gravitacionales.

5. Breve introducción a métodos numéricos.

Diferencias Finitas. Integración Temporal. Condiciones de Contorno. Condición de Courant-Friedrichs-Lewy. Adaptive-mesh-refinement.

6. Ecuaciones de materia en relatividad general y propagación de señales electromagnéticas.

Campo Escalar. Hidrodinámica. Magneto-hidrodinámica (MHD). Electrodinámica Force-Free. Transporte Radiativo. Propagación de señales electromagnéticas en vacío y en plasmas. Dispersión. Rotación de Faraday. Lentes gravitacionales: ecuaciones de lentes fuerte y débiles; curvas críticas, cáusticas; time delay; formación de múltiples imágenes: arcos; aproximación analítica perturbativa.

7. Astrofísica relativista en agujeros negros y en estrellas de neutrones.

Discos de Acreción en agujeros negros, discos delgados de Shakura-Sunyaev y de Novikov-Thorne-Page, AGNs y el mecanismo de Blandford-Znajek. Procesos radiativos en agujeros negros. Polarización. Ensanchamiento de líneas de hierro. Reconstrucción de imagen, trazado de rayos: métodos analíticos y numéricos. Púlsares. Magnetares. Estrellas de Bosones. Sistemas binarios compactos; astronomía de mensajeros múltiples. Curvas de luminosidad. Trazado de rayos. Clasificación de Belobodorov.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- 1) Baumgarte, Thomas W., and Stuart L. Shapiro. "Numerical relativity: solving Einstein's equations on the computer." Cambridge University Press, 2010.
- 2) Shibata, Masaru. "Numerical relativity." Vol. 1. World Scientific, 2015.
- 3) Alcubierre, Miguel. "Introduction to 3+ 1 numerical relativity." Vol. 140. OUP Oxford, 2008.
- 4) Bona, Carles, Carlos Palenzuela-Luque, and Carles Bona-Casas. "Elements of numerical relativity and relativistic hydrodynamics: from Einstein's equations to astrophysical simulations." Vol. 783. Springer Science & Business Media, 2009.
- 5) Gourgoulhon, Eric. "3+ 1 formalism in general relativity." Springer, 2012.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- 6) G. Romero and G. Vila. "Introduction to Black Hole Astrophysics". Springer, 2014.
- 7) Kaspi, Victoria M., and Andrei M. Beloborodov. "Magnetars." Annual Review of Astronomy

and Astrophysics 55, no. 1 (2017): 261-301.

8) Philippov, A., and M. Kramer. "Pulsar magnetospheres and their radiation." Annual Review

of Astronomy and Astrophysics 60, no. 1 (2022): 495-558.

9) Baumgarte, Thomas W., and Stuart L. Shapiro. "Numerical relativity: starting from scratch."

Cambridge University Press, 2021.

10) Meneghetti, Massimo. "Introduction to gravitational lensing: with Python examples." Vol.

956. Springer Nature, 2021.

11) Kato, S. ; Fukue, J. ; Mineshige, S. "Black-Hole Accretion Disks. Towards a New Paradigm". Kyoto University Press. 2008.

12) Lindquist, Richard W. "Relativistic transport theory." Annals of Physics 37, no. 3 (1966):

487-518.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

El curso tiene por objetivo brindar elementos de relatividad numérica y astrofísica relativista, orientada al estudio teórico y computacional de objetos compactos. Se busca que el estudiante comprenda la formulación 3+1 de las ecuaciones de Einstein, adquiera destrezas en la construcción y evolución de datos iniciales, y sea capaz de aplicar métodos analíticos y numéricos al análisis de fenómenos astrofísicos en entornos de objetos compactos como agujeros negros y estrellas de neutrones. Las actividades prácticas consistirán en la resolución de guías de problemas teóricos-prácticos y desarrollo de prácticas con simulaciones numéricas. La materia se desarrolla mediante una estrategia teórico-práctica que articula los fundamentos de relatividad general, la formulación 3+1, la construcción de datos iniciales, las principales formulaciones de la relatividad numérica y sus aplicaciones en astrofísica relativista. Las clases combinarán instancias teóricas y prácticas lo que incluye resolución de problemas, trabajos prácticos y simulaciones numéricas. Como recursos didácticos se empleará bibliografía especializada, guías de trabajos prácticos y herramientas computacionales acordes al perfil de la materia. La dinámica de trabajo promueve una participación activa de las/os estudiantes, articulando el trabajo autónomo con el intercambio con el equipo docente en torno a problemas, desarrollos numéricos y discusión de resultados.

EVALUACIÓN

FORMAS DE EVALUACIÓN

Para regularizar se deberán entregar una guía de problemas teórico-prácticos (desarrollos analíticos y numéricos) que deberán ser entregados al finalizar el cursado. Para aprobar el curso, los estudiantes deberán además exponer oralmente un trabajo o conjunto de trabajos que expliquen algún tema relacionado con la materia en donde se apliquen conceptos integradores de la misma. Las temáticas serán acordadas con los docentes. En la exposición deberán mostrar solvencia no



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

FAMAF

Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

sólo en el material específico trabajado sino también en los conceptos generales estudiados.

REGULARIDAD

1. Cumplir un mínimo de 70% de asistencia a clases teóricas, prácticas, o de laboratorio.
2. Aprobar al menos el 60% de los Trabajos Prácticos o de Laboratorio.

PROMOCIÓN

La materia no admite régimen de promoción.

CORRELATIVIDADES

Para cursar: Relatividad General I (regularizada).

Para Rendir: Relatividad General I (Aprobada)