

EX-2026-00509716- -UNC-ME#FAMAF

PROGRAMA DE ASIGNATURA	
ASIGNATURA: Relatividad General I	AÑO: 2026
CARÁCTER: Especialidad	UBICACIÓN EN LA CARRERA: 4° año 2° cuatrimestre
CARRERA: Licenciatura en Física	
RÉGIMEN: Cuatrimestral	CARGA HORARIA: 120 horas

FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS

La Relatividad General constituye una de las teorías fundamentales de la Física Moderna. Su formulación geométrica de la gravedad reemplaza la descripción newtoniana en regímenes de campos gravitatorios intensos y proporciona el marco conceptual indispensable para comprender fenómenos astrofísicos y cosmológicos de gran relevancia, tales como los agujeros negros, las ondas gravitacionales y la expansión y evolución del Universo.

El objetivo principal de este curso es proporcionar una formación sólida en los fundamentos conceptuales y matemáticos de la Relatividad General, enfatizando la estrecha relación entre la estructura geométrica del espacio-tiempo y la descripción física de los fenómenos gravitatorios. Se pretende introducir de manera sistemática y autocontenida elementos de geometría diferencial y cálculo tensorial, indispensables para formular la teoría y comprender el significado físico de las ecuaciones de campo de A. Einstein. A partir de esta base, se propone escribir, estudiar y entender las propiedades generales de estas ecuaciones y sus principales soluciones exactas. En particular, se analizan las soluciones cosmológicas más simples, las cuales constituyen el fundamento de la cosmología moderna. Además, se estudia en detalle la solución de Schwarzschild como primer ejemplo de agujero negro: la piedra angular para la comprensión de la dinámica de objetos compactos y de la estructura causal del espacio-tiempo. Asimismo, se estudian las ondas gravitacionales como soluciones de las ecuaciones linealizadas de Einstein, destacando su relevancia en astrofísica a partir de su detección experimental, hace ya diez años.

Se espera que quienes completen el curso hayan adquirido una comprensión profunda de los principios físicos de la Relatividad General y de las herramientas matemáticas necesarias para abordar problemas básicos en gravitación. La formación proporcionada en este curso permitirá continuar con cursos avanzados en gravedad y cosmología, así como iniciar actividades de investigación en Relatividad General, Astrofísica Relativista, Cosmología y temas afines.

CONTENIDO

1. Tensores sobre un espacio vectorial real V

Espacio dual V^* y doble dual V^{**} . Isomorfismo canónico ($V^{**} = V$). Tensores de rango (k,l) sobre V . Producto tensorial, contracción y evaluación de tensores. Espacios tensoriales sobre V . Diferentes interpretaciones de tensores (k,l) . Ejemplos de tensores en Física.

EX-2026-00509716- -UNC-ME#FAMAF

2. Variedades diferenciales y campos tensoriales

El concepto de variedad diferencial M . Ejemplos. Nociones básicas de topología en $\mathbb{R}^n$. Compacidad. Proyección estereográfica de la esfera. Espacio tangente en un punto, $T_p M$. Tensores sobre $T_p M$. Campos tensoriales en M . Tensor métrico. Variedades semi-riemannianas. Espacio vectorial de Minkowski.

3. Curvatura

Curvatura en geometría riemanniana. Transporte paralelo y conexión. Derivada covariante. Conexión de Levi-Civita. Teorema de unicidad de conexión métrica sin torsión. Geodésicas: definición y propiedades. Tiempo propio. Tensor de Riemann. Métodos para calcular el tensor de Riemann. Identidades de Bianchi. Holonomía. Ecuación de desviación geodésica. Descomposición del tensor de Riemann. El tensor de Weyl. Tensor de Ricci. El tensor de Einstein y sus propiedades.

4. La noción de evento y de espaciotiempo

Variedades diferenciales como modelos de espaciotiempos. El espaciotiempo en la física prerrelativista, en relatividad especial y en relatividad general. La gravedad como propiedad del espaciotiempo. Repaso de relatividad especial.

5. Las ecuaciones de Einstein

Principio de covariancia general. Principios de equivalencia. Derivación de las ecuaciones de Einstein. Tensor de energía-momento. Leyes de conservación. Ejemplos para diversos modelos de materia: campo electromagnético, campo de Klein-Gordon y fluidos ideales. Gravedad lineal y ondas gravitacionales. Límite newtoniano.

6. Cosmología

Isometrías. Homogeneidad e isotropía en relatividad general. El principio cosmológico. Dinámica de los universos homogéneos e isótropos. El universo estático de Einstein. La constante cosmológica. Solución de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker. Big Bang y Big Crunch. Espaciotiempos de de Sitter y de anti-de Sitter. Corrimiento al rojo cosmológico. Parámetro de Hubble y evolución del universo.

7. Agujeros Negros

Espaciotiempos estáticos y estacionarios. Vectores de Killing. Pullback y pushforward. Derivada de Lie. Espaciotiempos esféricamente simétricos. Derivación de la solución de Schwarzschild. Solución interior. Ecuaciones de Tolman-Oppenheimer-Volkoff. Colapso gravitacional. Geodésicas en Schwarzschild y cantidades conservadas. Tests experimentales clásicos de la relatividad general. La extensión de Kruskal. El concepto de agujero negro como propiedad global del espaciotiempo.

BIBLIOGRAFÍA**BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

- Notas de clase.
- Wald, R. M. General Relativity. The University of Chicago Press, 1984.
- Carroll, S. M. Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. Addison-Wesley, 2004.
- Poisson, E. A Relativist's Toolkit: The Mathematics of Black-Hole Mechanics. Cambridge University Press, 2004.



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

FAMAF

Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EX-2026-00509716- -UNC-ME#FAMAF

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Misner, C. W., Thorne, K. S. y Wheeler, J. A. Gravitation. W. H. Freeman and Company, 1973.
- Hawking, S. W. y Ellis, G. F. R. The Large Scale Structure of Space-Time. Cambridge University Press, 1973.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

- Clases teórico-prácticas, dos veces por semana.
- Exposición dialogada de los contenidos de la materia, resolución de problemas clave y discusión en clase de los mismos.
- Exposición de algún paper/trabajo de investigación relevante dependiendo del tema a desarrollar.
- Se les entregarán guías de problemas para resolver en el tiempo previsto, y entregar uno o dos ejercicios elegidos por el docente.

EVALUACIÓN

FORMAS DE EVALUACIÓN

Dos exámenes parciales durante la cursada. Un Examen final escrito presencial para la acreditación del curso (durante las mesas de examen previstas por la Facultad)

REGULARIDAD

- Cumplir un mínimo de 70% de asistencia a clases teóricas, prácticas, o de laboratorio.
- Aprobar al menos dos evaluaciones parciales o sus correspondientes recuperatorios.

CORRELATIVIDADES

Para cursar: Electromagnetismo II (regularizada)

Para rendir: Electromagnetismo II (aprobada)