

**FICHA IDENTIFICATIVA****Datos de la Asignatura**

Código	43298
Nombre	Relatividad general
Ciclo	Máster
Créditos ECTS	6.0
Curso académico	2019 - 2020

Titulación(es)

Titulación	Centro	Curso	Periodo
2150 - M.U. en Física Avanzada 12-V.2	Facultad de Física	1	Primer cuatrimestre

Materias

Titulación	Materia	Caracter
2150 - M.U. en Física Avanzada 12-V.2	3 - Astrofísica avanzada	Optativa

Coordinación

Nombre	Departamento
CERDA DURAN, PABLO	16 - Astronomía y Astrofísica
FONT RODA, JOSE ANTONIO	16 - Astronomía y Astrofísica
MORALES LLADOSA, JUAN ANTONIO	16 - Astronomía y Astrofísica

RESUMEN

Fundamentos de Relatividad. Observadores en un campo gravitatorio. Formulación de las leyes físicas en espacios curvos. Tensores de energía. Hidrodinámica relativista. Ecuaciones de Maxwell. Ecuaciones de Einstein. Linealización. Isometrías i campos de Killing. Simetría esférica. Soluciones exactas. La geometría de Schwarzschild: extensiones y generalizaciones. Colapso gravitatorio esférico. Formación de agujeros negros: propiedades características. Formalismo evolutivo de la Relatividad. Formulación 3+1 de las ecuaciones fundamentales. Relatividad Numérica: aplicaciones en Astrofísica Relativista. Radiación gravitatoria.



CONOCIMIENTOS PREVIOS

Relación con otras asignaturas de la misma titulación

No se han especificado restricciones de matrícula con otras asignaturas del plan de estudios.

Otros tipos de requisitos

Haber cursado la asignatura "Relatividad y Cosmología" del grado de Física, u otra con contenidos similares.

COMPETENCIAS

2150 - M.U. en Física Avanzada 12-V.2

- Que los/las estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- Que los/las estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo
- Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- Ser capaces de obtener y de seleccionar la información y las fuentes relevantes para la resolución de problemas, elaboración de estrategias y asesoramiento a clientes.
- Comprender de una forma sistemática el campo de estudio de la Física y el dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo.
- Concebir, diseñar, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación con seriedad académica.
- Realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas en el área de la Física.
- Analizar una situación compleja extrayendo cuales son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.
- Evaluar la validez de un modelo o teoría propuesto por otros miembros de la comunidad científica.
- Saber modelizar matemáticamente los problemas físicos sencillos nuevos, conectados con problemas conocidos. Ser capaz de expresar en términos matemáticos nuevas ideas.
- Elaborar una memoria clara y concisa de los resultados de su trabajo y de las conclusiones obtenidas en el área de la Física.
- Exponer y defender públicamente el desarrollo, resultados y conclusiones de su trabajo en el área de la Física.
- Comprender los aspectos formales y el aparato matemático de la relatividad general, y desarrollar la capacidad de intuición espaciotemporal en cuatro dimensiones.



RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje el estudiante de la especialidad de "Astrofísica" habrá aprendido a

1. Seleccionar y utilizar correctamente distintas fuentes de información tanto en formato tradicional como electrónico. Conocer las bases de archivos propias del campo: inspire, spires, arXiv.
2. Manejar e interpretar correctamente datos físicos cuantitativos y cualitativos que dan validez a las teorías conocidas en el campo.
3. Analizar información de los sistemas físicos.
4. Preparar documentos e informes presentados en un texto escrito de forma comprensible organizada, documentada e ilustrada.
5. Articular un discurso oral, estructurado, coherente, con buena dicción y empleo de vocabulario técnico.
6. Comprender los argumentos utilizados en el campo de la Astronomía y Astrofísica.
7. Comprender la descripción matemática de los procesos físicos que gobiernan la formación y evolución de los objetos celestes tanto a escala estelar como cosmológica.
8. Utilizar a nivel básico instrumentación astronómica profesional. Aproximación al hecho observacional.
9. Comprender la metodología de la elaboración, interpretación y utilización de catálogos de objetos celestes.
10. Ser capaz de desarrollar y manejar las técnicas matemáticas para la aplicación, en casos sencillos, de las ecuaciones de Einstein de la gravitación.

DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

1. La teoría de la Relatividad. Ecuaciones de Einstein.

- (a) Espacio-tiempo y geometría lorentziana.
- (b) Ecuaciones de Einstein. Unicidad. Límite newtoniano. Linealización.
- (c) Planteamiento del problema de Cauchy. Condiciones coordenadas.
- (d) Condiciones de ajuste de soluciones sobre una 3-superficie.

2. Observadores en un campo gravitatorio.

- (a) Observador local. Tiempo propio y espacio propio de un observador.
- (b) Magnitudes relativas a un observador.
- (c) Desplazamiento espectral en un campo gravitatorio estacionario y en un universo en expansión.
- (d) Transporte de Fermi-Walker. Observador local sin rotación.
- (e) Aceleración, rotación, distorsión y expansión d'una congruencia temporal.



3. Fluidos relativistas.

- (a) Vector corriente y tensor energía-momento de un fluido.
- (b) Ecuaciones de la hidrodinámica relativista.
- (c) Fluido perfecto. Variables termodinámicas.
- (d) Colapso gravitatorio esférico

4. Electromagnetismo en un espacio-tiempo curvo.

- (a) Campo electromagnético. Ecuaciones de Maxwell.
- (b) Tensor energía-momento del campo electromagnético.
- (c) La aproximación de la óptica geométrica.

5. Curvatura del espacio-tiempo.

- (a) Curvatura y tensor de Weyl. Tensor de Cotton. Identidades de Bianchi.
- (b) Identidades de Ricci: evolución de la expansión y la distorsión.
- (c) Métricas conformes. Caracterización de los espacios conformemente planos.

6. Isometrías.

- (a) Simetrías. Campos de Killing.
- (b) Campos gravitatorios estacionarios.
- (c) Álgebra de Lie de los campos de Killing. Simetría maximal.
- (d) Espacios-tiempos con simetría esférica.
- (e) Principio Cosmológico. Métricas de Robertson-Walker.

7. Formalismo evolutivo de la Relatividad.

- (a) Foliaciones espaciales. Métrica inducida. y curvatura extrínseca.
- (b) Función paso y vector desplazamiento.
- (c) Expresión de la métrica en coordenadas adaptadas a la foliación.
- (d) Ecuaciones de Einstein en formalismo evolutivo. Variables dinámicas.

8. Relatividad Numérica.

- (a) Breve introducción histórica de la Relatividad Numérica.
- (b) Ecuaciones de Einstein adaptadas a un enfoque numérico. Formulación $3 + 1$.
- (c) Hidrodinámica y MHD relativista numérica.
- (d) Esquemas de alta resolución de captura de choques.

**9. Aplicaciones de la Relatividad Numérica: Astrofísica Relativista.**

- (a) Estrellas relativistas en rotación.
- (b) Colapso gravitatorio.
- (c) Acreción sobre agujeros negros.
- (d) Colisión de agujeros negros y de estrellas de neutrones

10. Radiación gravitatoria

- (a) Campos gravitatorios débiles. Ondas gravitatorias.
- (b) Fuentes de radiación gravitatoria.
- (c) Detección de ondas gravitatorias.

VOLUMEN DE TRABAJO

ACTIVIDAD	Horas	% Presencial
Clases de teoría	39,50	100
Otras actividades	4,00	100
Seminarios	2,50	100
Preparación de clases de teoría	52,00	0
Preparación de clases prácticas y de problemas	52,00	0
TOTAL	150,00	

METODOLOGÍA DOCENTE

MD1 - Clases teóricas lección magistral participativa.

MD5 – Seminarios.

MD6 – Visita a instalaciones científicas externas y empresas

MD8 – Conferencias de expertos.

EVALUACIÓN

- 1) Examen escrito sobre los contenidos de la asignatura y las prácticas propuestas (50%).
- 2) Asistencia a las clases presenciales y realización de las prácticas propuestas en horas no presenciales (50%).



Para obtener una evaluación global positiva (mayor o igual que 5 sobre 10) se requiere que cada una de las calificaciones anteriores sea mayor o igual que 3 sobre 10.

REFERENCIAS

Básicas

- E.ourgoulhon, Relativité Restreinte des particules à l'Astrophysique (EDP Sciences, CNRS Éditions, 2010). Versión en inglés: Special Relativity in General frames (Springer-Verlag, 2013), accesible en Éricourgoulhon homepage: <http://luth.obspm.fr/~luthier/gourgoulhon/>
- N. Straumann, General Relativity and Relativistic Astrophysics (Springer-Verlag, Berlin, 1984).
- H. Stephani, General Relativity, (Cambridge University Press, Cambridge, 1982).
- R. d'Inverno, Introducing Einstein's Relativity, (Clarendon Press, Oxford, 1998).
- W. Rindler, Relativity, Special, General, and Cosmological (Oxford University Press, 2a ed., 2006).
- R. M. Wald, General Relativity (The University of Chicago Press, Chicago, 1984).
- E.ourgoulhon, 3+1 Formalism and bases of Numerical Relativity, Lecture Notes in Physics 846, (Springer, 2012); arXiv: gr-qc/0703035.
- T. W. Baumgarte and S. L. Shapiro, Numerical Relativity. Solving Einstein's Equations on the Computer (Cambridge Univ. Press, 2010).
- L. Rezzolla and O. Zanotti, Relativistic Hydrodynamics (Oxford University Press, 2013).

Complementarias

- S. Weinberg, Gravitation and Cosmology (Wiley, New York, 1972).
- L. Landau and E. M. Lifshitz, The Classical Theory of Fields, (Elsevier, Amsterdam, Fourth ed., 1975. Reprinted, 2007).
- F. de Felice, C. J. S. Clarke, Relativity on Curved Manifolds (Cambridge U.P., Cambridge, 1990).
- L. P. Hughston, K. P. Tod, An Introduction to General Relativity, (Cambridge U. P. 1990).
- J. Plebanski, A. Krasinski, An Introduction to General Relativity and Cosmology, (Cambridge U. P. 2006).
- H. Stephani, D. Kramer, M. MacCallum, C. Hoenselaers and E. Herlt, Exact Solutions to Einstein's Field Equations, Second edition (Cambridge Univ. Press, 2003).
- L. P. Eisenhart, Riemannian Geometry (Princeton U.P., Princeton, 1949).
- M. Alcubierre, Introduction to 3+1 Numerical Relativity, Oxford University Press (2008).
- Y. Choquet-Bruhat, General Relativity and the Einstein Equations, Oxford University Press (2008).



- J. A. Font, Numerical hydrodynamics and magneto-hydrodynamics in general relativity, Living Reviews in Relativity, 7 (2008), <http://www.livingreviews.org/lrr-2008-7>
- L. Smarr and J.W. York, Jr., Kinematical conditions in the construction of spacetime., Phys. Rev. D. 17, 2529-2551 (1978).
- J.W. York, Jr. The initial value problem and dynamics, en "Sources of Gravitational Radiation" edited by L. Smarr, (Cambridge Univ. Press: Cambridge, 1979) pp. 175-201.
- J. Winicour, Characteristic evolution and matching, Living Reviews in Relativity, 3 (2009), <http://www.livingreviews.org/lrr-2009-3>
- New frontiers in Numerical Relativity, M. Campanelli and L. Rezzolla Eds., Classical and Quantum Gravity, 24 12 (2007)
- C. Heinicke and F. Hehl, Schwarzschild and Kerr solutions of Einstein's field equation: An Introduction, International Journal of Modern Physics D, Vol. 24, No 2 (2015) 1530006 (78 pages).
- J. D. Norton, General covariance and the foundations of general relativity: eighth decades of dispute, Rep. Prog. Phys. 56 (1993) 791-858. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/56/7/001/meta>

ADENDA COVID-19

Esta adenda solo se activará si la situación sanitaria lo requiere y previo acuerdo del Consejo de Gobierno