

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

Código	34270
Nombre	Relatividad y Cosmología
Ciclo	Grado
Créditos ECTS	4.5
Curso académico	2022 - 2023

Titulación(es)

Titulación	Centro	Curso	Periodo
1105 - Grado en Física	Facultad de Física	4	Segundo cuatrimestre

Materias

Titulación	Materia	Caracter
1105 - Grado en Física	16 - Complementos de Física	Optativa

Coordinación

Nombre	Departamento
FONT RODA, JOSE ANTONIO	16 - Astronomía y Astrofísica

RESUMEN

La asignatura Relatividad y Cosmología, optativa cuatrimestral de cuarto curso del Grado de Física, con una asignación de 4.5 créditos, es una introducción a la teoría del espacio-tiempo en presencia de gravitación, es decir a la teoría de Einstein de la gravitación, también conocida como teoría de la relatividad general (RG). El lenguaje básico de esta teoría es la geometría riemanniana (los espacios curvados), así pues, esta asignatura será también una introducción a las nociones básicas de los espacios curvados. El estudio de la RG puede continuarse en el programa del Máster de Física Avanzada.

La RG está vigente en diversas disciplinas y encuentra aplicación en un amplio rango de escalas espaciales:

- La ingeniería relacionada con los sistemas de posicionamiento global GPS o Galileo necesita tener en cuenta correcciones relativistas, igual que estos se necesitaron para explicar el adelanto anómalo del perihelio de Mercurio.



- La evolución de objetos astronómicos compactos, el colapso estelar, la formación de agujeros negros y los procesos energéticos que estos producen, son tópicos habituales de la astrofísica relativista en los que la RG es necesaria.
- La RG predice la existencia de las ondas gravitatorias. La detección directa de la primera onda gravitatoria (GW150914), cien años después de que Einstein completara su teoría de la RG, constituye uno de los acontecimientos científicos más importantes de los últimos tiempos. La Astronomía de Ondas Gravitatorias está abriendo una nueva ventana al Universo, complementaria a la electromagnética, que proporcionará una visión del Universo nueva y fascinante.
- Las lentes gravitatorias son una consecuencia inevitable de la RG que ha encontrado una aplicación importante en la búsqueda de materia oscura en cosmología.
- La expansión acelerada del Universo detectada en la observación de supernovas lejanas ha puesto de manifiesto una componente misteriosa de energía, desconocida por el momento (energía oscura), que está estimulando gran cantidad de estudios y especulaciones.
- En otra dirección, el estudio de la gravitación a escalas cuántica se ha convertido en otro tópico teórico importante.

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

Se recomienda cursar "RIC" después de haber cursado las asignaturas básicas de "Física" y "Matemáticas".

COMPETENCIAS

1105 - Grado en Física

- Poseer y comprender los fundamentos de la Física en sus aspectos teóricos y experimentales, así como el bagaje matemático necesario para su formulación.
- Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la actividad profesional, saber resolver problemas y elaborar y defender argumentos, apoyándose en dichos conocimientos.
- Ser capaz de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios.
- Resolución de problemas: Ser capaz de evaluar claramente los órdenes de magnitud, de desarrollar una percepción de las situaciones que son físicamente diferentes pero que muestran analogías, permitiendo, por lo tanto, el uso de soluciones conocidas a nuevos problemas.



- Modelización y resolución de problemas: Ser capaz de identificar los elementos esenciales de un proceso/situación y de establecer un modelo de trabajo del mismo. Ser capaz de realizar las aproximaciones requeridas con el objeto de reducir un problema hasta un nivel manejable. Pensamiento crítico para construir modelos físicos.
- Cultura General en Física: Haberse familiarizado con las áreas más importantes de la Física y con enfoques que abarcan y relacionan diferentes áreas de la Física, así como relaciones de la Física con otras ciencias.
- Investigación básica y aplicada: Adquirir una comprensión de la naturaleza de la investigación Física, de las formas en que se lleva a cabo, y de cómo la investigación en Física es aplicable a muchos campos diferentes, por ejemplo la ingeniería; habilidad para diseñar procedimientos experimentales y/o teóricos para: (i) resolver los problemas corrientes en la investigación académica o industrial; (ii) mejorar los resultados existentes
- Destrezas generales y específicas en lenguas extranjeras: Haber mejorado el dominio del inglés (o de otra lengua extranjera de interés) a través de: acceso a bibliografía fundamental, comunicación oral y escrita (inglés científico-técnico), cursos, estudios en el extranjero, reconocimiento de créditos en universidades extranjeras etc.
- Búsqueda de bibliografía: Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía en Física y otra bibliografía técnica, así como cualquier fuente de información relevante para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos.
- Capacidad de aprendizaje: Ser capaz de iniciarse en nuevos campos de la Física y de la ciencia y tecnología en general, a través del estudio independiente.
- Comunicación oral y escrita: Ser capaz de transmitir información, ideas, problemas y soluciones mediante la argumentación y el razonamiento propios de la actividad científica, utilizando los conceptos y herramientas básicas de la Física.
- Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
- Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.



RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Se espera conseguir un nivel fundamental en el uso de la teoría de Einstein de la gravitación. A tal fin se adquirirá un nivel básico en los puntos más relevantes de la geometría de los espacios curvos, y su relación con la física de la gravitación:

- Cálculo tensorial: algebraico y diferencial.
- Las propiedades geométricas y las consecuencias físicas de tres espacios métricos básicos: Schwarzschild, Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, y ondas gravitatorias linealizadas, que conducirán a: el fenómeno del agujero negro, los modelos cosmológicos y la generación y análisis de la radiación gravitatoria respectivamente.
- Las geodésicas temporales y nulas y el problema del movimiento de las partículas prueba y de los rayos de luz. Familias de geodésicas, la ecuación de desviación y el correspondiente significado físico.
- Al fin y al cabo debe proporcionar una destreza en la visión geométrica, que se materializará en el uso de diagramas espacios temporales, en la discusión de los problemas físicos.

Otros propios de la titulación:

- Desarrollar la capacidad de razonamiento crítico y la aplicación del método científico.
- Ser capaz de identificar problemas, incluyendo los parecidos con otras la solución de las cuales es conocida, e idear estrategias para su solución.
- Desenrollar la capacidad de planificar y organizar el propio aprendizaje, basándose en el trabajo individual, a partir de la bibliografía y otras fuentes de información.
- Evaluar las diferentes causas de un fenómeno y su importancia relativa.
- Identificar los elementos esenciales de una situación compleja, realizar las aproximaciones necesarias para construir modelos simplificados que lo describan y poder así entender su comportamiento en otras situaciones.
- Ser capaz de efectuar una puesta al día de la información existente sobre un problema concreto, ordenarla y analizarla.
- Fomentar la capacidad para trabajar en equipo a la hora de abordar problemas complejos que requieren colaboración con otras personas.
- Potenciar la adquisición de recursos de expresión oral y escrita para llevar a término una argumentación científica clara y coherente.
- Estimular la capacidad de comunicación de los conceptos físicos involucrados en un problema por la vía de expresión oral y escrita.
- Potenciar la comprensión y el uso de las nuevas tecnologías de la información.

DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

1. Relatividad especial

Introducción. Estructura geométrica del espacio-tiempo (El espacio-tiempo como espacio afín; Cono de luz. Rectas temporales, espaciales e isótropas; Sincronización e intervalo temporal; Observador inercial. Simultaneidad. Intervalo coordinado temporal; Intervalo espacial; Sistema de referencia inercial; Intervalo entre dos sucesos; Espacio vectorial de Minkowski; 4-velocidad y 4-aceleración; Transformaciones de Lorentz). Mecánica de una partícula en relatividad especial. Tensores en



relatividad especial. Movimiento de cargas en un campo electromagnético. Ecuaciones de Maxwell en el formalismo 4-dimensional. Fluidos en relatividad especial (Flujo de número; Ecuación de continuidad; Flujo de 4-momento; Tensor energía-momento; Ecuación de conservación de la energía-momento; Fluido perfecto).

2. Espacio-tiempo curvado. Geometría diferencial

El campo gravitatorio en relatividad especial. Principio de equivalencia. El espacio euclídeo como variedad diferenciable. Cálculo tensorial en coordenadas curvilíneas. Variedades diferenciables. El espacio-tiempo como variedad diferenciable (Métrica en relatividad general; Derivada covariante; Divergencia y teorema de Gauss; Transporte paralelo; Tensor curvatura; Ecuación de la desviación de las geodésicas; Identidades de Bianchi, tensor de Ricci y tensor de Einstein). Física en un espacio-tiempo curvado (Mecánica de una partícula; Mecánica de fluidos; Electrodinámica).

3. Ecuaciones de Einstein

Ecuaciones de Einstein. Estructura matemática de las ecuaciones de Einstein. Aproximación de campo débil. Ecuaciones de Einstein linealizadas. Límite newtoniano de las ecuaciones. Teorema de Lovelock. Derivación de las ecuaciones de Einstein a partir de un principio variacional.

4. Radiación gravitatoria

Ondas gravitatorias en el vacío. Polarización de las ondas. Fundamento de los detectores. Emisión de radiación.

5. Soluciones con simetría esférica

Métrica en simetría esférica (Coordenadas de un espacio-tiempo con simetría esférica; Espacio-tiempo con simetría esférica y estático; Ecuaciones de Einstein para un fluido perfecto estático; La geometría exterior: métrica de Schwarzschild; La estructura interior de una estrella estática). Geodésicas en la geometría de Schwarzschild (Orbitas circulares. Avance del perihelio; Deflexión de la luz). Estructura causal del espacio-tiempo de Schwarzschild (Conos de luz; Observador en caída libre; Coordenadas entrantes de Eddington-Finkelstein; Coordenadas salientes de Eddington-Finkelstein; Coordenadas de Kruskal-Szekeres y la extensión maximal de Schwarzschild).

6. Cosmología

Homogeneidad e isotropía. Las ecuaciones de Friedmann (Tensor de Ricci y símbolos de Christoffel; Los términos de materia cosmológicos; Las ecuaciones de Einstein en cosmología). El corrimiento al rojo cosmológico. Modelos cosmológicos (Consideraciones generales; Soluciones importantes de las ecuaciones de Friedmann: (1) Modelos planos y dominados por la materia; (2) Modelos dominados por la materia y sin constante cosmológica; (3) El universo estático de Einstein; (4) El universo de de Sitter; (5) Modelos dominados por la radiación y sin constante cosmológica).



VOLUMEN DE TRABAJO

ACTIVIDAD	Horas	% Presencial
Clases de teoría	45,00	100
	0,00	100
Lecturas de material complementario	22,50	0
Preparación de clases de teoría	22,50	0
Preparación de clases prácticas y de problemas	22,50	0
TOTAL	112,50	

METODOLOGÍA DOCENTE

La metodología docente de la asignatura estará basada en clases teórico-prácticas de pizarra donde se impartirán los contenidos teóricos básicos de la asignatura, así como ejemplos prácticos de problemas y ejercicios que mejor los ilustren. En combinación con discusiones y deducciones en la pizarra se podrán utilizar herramientas gráficas que incluyan imágenes, vídeos o presentaciones que permitan ilustrar algunos de los conceptos explicados. Los apuntes de la asignatura, elaborados por el profesor, se pondrán a disposición de los estudiantes en el aula Virtual desde el principio del curso. Aunque la mayor parte de los aspectos del programa se abordarán directamente durante las clases, algunos aspectos puntuales o monográficos del temario podrían ser indicados para su estudio sin que se tratan directamente. Se fomentará y guiará al alumno en la ampliación de contenidos a través de la bibliografía recomendada y artículos de investigación de tipo revisión.

EVALUACIÓN

Los sistemas de evaluación son los siguientes:

1) **Exámenes escritos** (80%): una parte evaluará la comprensión de los aspectos teórico-conceptuales y el formalismo de la asignatura, tanto mediante preguntas teóricas como a través de cuestiones conceptuales y numéricas o casos particulares sencillos. Otra parte valorará la capacidad de aplicación del formalismo, mediante la resolución de problemas, así como la capacidad crítica respecto a los resultados obtenidos. En ambas partes se valorarán una correcta argumentación y una adecuada justificación.

2) **Evaluación continua** (20%): valoración de trabajos y problemas presentados por los estudiantes, cuestiones propuestas y discutidas en el aula, presentación oral de problemas resueltos o cualquier otro método que suponga una interacción entre docentes y estudiantes.

REFERENCIAS



Básicas

- «A first course in general relativity», Bernard Schutz, Cambridge University Press, 2009.
- «Spacetime and Geometry», Sean M. Carroll, Addison Wesley, 2003.
- «A student's manual for a first course in general relativity», Robert B. Scott, Cambridge University Press, 2016.

Complementarias

- «Gravity. An introduction to Einstein's general relativity», J.B. Hartle, Addison Wesley, 2003.
- «General relativity an introduction to physicists», Hobson, M.P., Efstathiou G.P., Lasenby, A.N., Cambridge University Press, 2006.
- «Gravitation», C.W. Misner, K.S. Thorne, J.A. Wheeler, Princeton University Press, 2017.
- «Relativity and Cosmology», Wolfgang Rindler, Oxford University Press, 2005.