

Guía docente

230489 - RELG - Relatividad General

Última modificación: 11/04/2025

Unidad responsable: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona
Unidad que imparte: 749 - MAT - Departamento de Matemáticas.
748 - FIS - Departamento de Física.

Titulación: GRADO EN INGENIERÍA FÍSICA (Plan 2011). (Asignatura optativa).

Curso: 2025 **Créditos ECTS:** 6.0 **Idiomas:** Castellano

PROFESORADO

Profesorado responsable: NARCISO ROMAN ROY

Otros: Primer quadrimestre:
NARCISO ROMAN ROY - 10
RAMON TORRES HERRERA - 10

CAPACIDADES PREVIAS

Conocimientos de Mecánica y Electromagnetismo clásicos adquiridos en las asignaturas previas del Grado; especialmente es recomendable haber cursado la asignatura de "Mecánica" (2A, grado de Ingeniería Física), o también la de "Modelos Matemáticos de la Física" (3B, grado de Matemáticas).

COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Específicas:

3. Conocimiento del método científico y sus aplicaciones en física e ingeniería. Aptitud para formular hipótesis y realizar análisis críticos sobre problemas científicos en el ámbito de la física y la ingeniería. Capacidad para relacionar la realidad física con sus modelos matemáticos y viceversa.

MAT1. Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre álgebra lineal; geometría, geometría diferencial, cálculo diferencial e integral, ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales, probabilidad y estadística.

FG2. Capacidad para resolver problemas básicos de mecánica, elasticidad, termodinámica, fluidos, ondas, electromagnetismo y física moderna, y su aplicación en la resolución de problemas de ingeniería.

Genéricas:

2. CAPACIDAD PARA IDENTIFICAR, FORMULAR Y RESOLVER PROBLEMAS DE INGENIERÍA FÍSICA. Capacidad para plantear y resolver problemas de ingeniería física con iniciativa, tomada de decisiones y creatividad. Desarrollar métodos de análisis y solución de problemas de forma sistemática y creativa.

Transversales:

1. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 3: Aplicar los conocimientos alcanzados en la realización de una tarea en función de la pertinencia y la importancia, decidiendo la manera de llevarla a cabo y el tiempo que es necesario dedicarle y seleccionando las fuentes de información más adecuadas.

METODOLOGÍAS DOCENTES

Clases magistrales con interacción con los estudiantes

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

La asignatura pretende garantizar una formación suficiente a los estudiantes para poder progresar al conocimiento de la Teoría de la Relatividad General (TRG). Tras una introducción de los útiles matemáticos necesarios y un breve repaso de la formulación minkowskiana de la Teoría de la Relatividad Especial, describiremos el progreso conceptual que llevó a Albert Einstein a formular la TRG a partir de la Especial y daremos a conocer formalmente dicha teoría, su actual vigencia, los tests experimentales que la avalan, así como las principales aportaciones en el tema del campo exterior y colapso estelar, generación de agujeros negros y origen y evolución del universo: soluciones cosmológicas.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTE

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	65,0	43.33
Horas aprendizaje autónomo	85,0	56.67

Dedicación total: 150 h

CONTENIDOS

1. Complementos de álgebra tensorial y geometría diferencial.

Descripción:

Conceptos básicos de álgebra tensorial. Campos tensoriales. Operaciones. Campos vectoriales, de formas diferenciales y de tensores en R^n . Variedades diferenciables. Operadores diferenciales. Derivaciones. Derivada covariante. Símbolos de Christoffel. Conexiones. Transporte paralelo. Geodesicas. Ecuación geodésica. Tensor métrico. Simetrías y vectores de Killing. Tensor de torsión de una conexión. Conexión de Levi-Civita. Tensores de curvatura (Riemann, Ricci), propiedades.

Dedicación: 47h 20m

Grupo grande/Teoría: 10h

Grupo mediano/Prácticas: 10h

Aprendizaje autónomo: 27h 20m

2. Repaso de Relatividad Especial. La formulación de Minkowski de la Relatividad Especial.

Descripción:

Postulados de la Relatividad Especial. Métrica de Minkowski y espacio-tiempo de Minkowski. Observadores inercia. Cuadrivectores. Cono de luz. Geometría de Lorentz. Transformaciones y grupos de Lorentz y de Poincaré. Cinemática y dinámica relativistas. El tensor electromagnético: las ecuaciones de Maxwell.

Dedicación: 7h

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 4h

3. Principios de la Relatividad General.

Descripción:

Fundamentos de la Relatividad General, ecuaciones de la gravitación newtoniana. La masa inercial y gravitacional. El principio de equivalencia, consecuencias. Las geometrías no euclidianas. Postulados de la Relatividad General

Dedicación: 3h 30m

Grupo grande/Teoría: 1h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 1h 30m

4. Las ecuaciones de la Relatividad General.

Descripción:

El tensor de esfuerzo-energía-momento. Conservación del tensor de esfuerzo-energía-momento. El tensor de Einstein. Propiedades. Ecuaciones de campo de Einstein y ecuación geodésica. Consecuencias de las ecuaciones de Einstein. Efectos de marea. La constante cosmológica. La relatividad general a partir de un principio variacional: La lagrangiana de Hilbert-Einstein. Aspectos fenomenológicos.

Dedicación: 11h 50m

Grupo grande/Teoría: 3h 20m

Grupo mediano/Prácticas: 1h 40m

Aprendizaje autónomo: 6h 50m

5. Cinemática en Relatividad General.

Descripción:

Congruencias de geodésicas temporales. Distancias e intervalos en Relatividad General. Tensor métrico tridimensional. Criterio de sincronización de relojes en Relatividad General. Sistema de referencia localmente-inercial. Corrimiento hacia el rojo gravitacional. Generalización covariante del efecto Doppler y del corrimiento hacia el rojo gravitacional.

Dedicación: 6h 30m

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 2h 30m

6. La solución de Schwarzschild. Geodésicas en la geometría de Schwarzschild.

Descripción:

Soluciones con simetría esférica. Soluciones estáticas. Soluciones asintóticamente planas. El espacio-tiempo de Schwarzschild. Propiedades y el teorema de Birkhoff. Singularidades de la curvatura (esencial, intrínseca o real) y singularidades evitables (singularidades de las coordenadas). Método lagrangiano para obtener la ecuación de las geodésicas de tipo tiempo (o nulas). Simetrías y cantidades conservadas. Órbitas frontera. Órbitas circulares estables e inestables. Geodésicas radiales.

Dedicación: 16h 20m

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Aprendizaje autónomo: 9h 20m

7. Las pruebas experimentales de la Relatividad General.

Descripción:

Avance del perihelio de Mercurio. La desviación de los rayos de luz. Corrimiento hacia el rojo gravitatorio. Retardo de tiempo de las ondas electromagnéticas.

Dedicación: 7h 10m

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 4h 10m

8. Agujeros negros.

Descripción:

Coordenadas de Eddington-Finkelstein. Horizonte de sucesos. Agujeros negros. Fuerzas de marea en un agujero negro. Evidencia observacional de agujeros negros.

Dedicación: 11h 50m

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 6h 50m

9. Extensión máxima y compactificación conforme.

Descripción:

Extensiones analíticas máximas. Solución de Kruskal. Diagrama de Penrose del espacio-tiempo de Minkowski. Diagrama de Penrose del espacio-tiempo de Schwarzschild-Kruskal. Agujeros negros versus agujeros blancos. Superficies atrapadas cerradas. Colapso gravitatorio de una estrella. Creación de agujeros negros.

Dedicación: 11h 40m

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 6h 40m

10. Modelización de la radiación y el colapso: Solución de Vaidya

Descripción:

Espacio-tiempo exterior de una estrella que emite o recibe radiación: métrica de Vaidya. Flujo de radiación. Tensor de esfuerzo-energía-momento. Agujeros negros y radiación. Diagramas de Penrose para la métrica de Vaidya. Colapso radiativo de un espacio-tiempo esféricamente simétrico: Condiciones coincidentes. Condiciones de energía dominantes en un colapso radiativo.

Dedicación: 11h

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 7h

11. Cosmología relativista. Modelos cosmológicos.

Descripción:

Paradoja de Olbers. La ley de Hubble. El principio cosmológico. Postulado de Weyl. Ecuaciones de Friedmann. Cosmología relativista. La geometría de los 3-espacios de curvatura constante. Modelos de espacio plano. Los modelos de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker en el caso plano. Big Bang. Estructura conforme de un modelo "plano" de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker.

Dedicación: 15h 50m

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Aprendizaje autónomo: 8h 50m

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

Dos exámenes parciales (P1 y P2). Examen final (F) (optativo).

Calificación: $(P1+P2)/2$ o F.

Examen extraordinario (E): se realizará solo en el caso de que la asignatura no sea aprobada en la convocatoria ordinaria e incluirá todos los contenidos del curso. La nota final de la asignatura será la de E.

BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- D'Inverno, R. Introducing Einstein's relativity. Oxford: Clarendon Press . Oxford University Press, 1992. ISBN 0198596863.
- Misner, C.W.; Thorne, K.S.; Wheeler, J.A. Gravitation. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1973. ISBN 0716703440.
- Landau, L.D. The classical theory of fields [en línea]. 4th rev English ed. Oxford: Pergamon, 1980 [Consulta: 10/10/2018]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1675199>. ISBN 9781483293288.
- Carroll, S.M. Spacetime and geometry: an introduction to general relativity. New Intern. ed. Essex: Pearson, 2014. ISBN 9781292026633.
- Poisson, E. A relativist's toolkit: the mathematics of black-hole mechanics. Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press, 2004. ISBN 0521830915, 9780511606601.