

# RELATIVIDAD GENERAL

Curso 2016/2017

(Código: 61044135)

## 1. PRESENTACIÓN DE LA ASIGNATURA

La Relatividad General formulada por Einstein, junto con la Mecánica Cuántica, es uno de los pilares básicos de la Física actual. Es una teoría física del espacio-tiempo, y también una teoría de la gravedad. En su versión especial, la Relatividad elimina los conceptos del espacio y el tiempo absoluto, por no ser observables, y en su versión general el espacio-tiempo deja de ser un ámbito inmutable donde ocurre la física, y se dota de un carácter dinámico, pasando a ser una parte más de la física. Al introducir el concepto de campo en la interacción gravitatoria, instantánea y a distancia en su versión newtoniana, lo revolucionario de la Relatividad General es la identificación del campo gravitatorio con la métrica del espacio-tiempo, que describe sus propiedades geométricas.

La Relatividad General es una materia compleja y difícil y en general se oferta en los cursos de especialización del master, o en los cursos superiores de la licenciatura. La inclusión de la Relatividad General en el plan de estudios del Grado en Física de la UNED, como asignatura optativa, está en la misma línea docente que la tendencia actual en esta materia, con una metodología basada más en el contenido físico, que en la fundamentación matemática, y por tanto, más apropiada al currículum del Grado. En este sentido, el diseño docente pretende como objetivo capacitar al estudiante para:

- entender el formalismo teórico de la teoría de la Relatividad General de Einstein, así como su contrastación experimental,
- comprender los principios de la Relatividad General y la física en un espacio-tiempo curvado,
- aprender herramientas matemáticas de análisis que le permita calcular los efectos relativistas generales,
- obtener una formación que le permita afrontar estudios avanzados en relatividad general.

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN EN EL PLAN DE ESTUDIOS

Esta asignatura se encuentra englobada en la materia del Grado, "Mecánica y Ondas" que está compuesta por seis asignaturas: cuatro obligatorias y dos optativas. La ubicación temporal de las mismas es la siguiente:

- Mecánica (6 ECTS), obligatoria, 2º curso, 1er semestre.
- Vibraciones y ondas (6 ECTS), obligatoria, 2º curso, 2º semestre.
- Mecánica teórica (6 ECTS), obligatoria, 3º curso, 1º semestre.
- Física de fluidos (5 ECTS), obligatoria, 4º curso, 2º semestre.
- Sistemas dinámicos (5 ECTS), optativa, 4º curso, 2º semestre.
- Relatividad general (5 ECTS), optativa, 4º curso, 2º semestre.

La teoría de la Relatividad Especial forma parte del contenido teórico de los primeros cursos de licenciatura, y también de grado. La Relatividad General es más compleja y difícil y en general se oferta en los cursos de especialización del master, o en los cursos superiores de la licenciatura. La inclusión de la Relatividad General en el plan de estudios del Grado en Física de la UNED, como asignatura optativa, está en la misma línea docente que la tendencia actual en esta materia, con una metodología basada más en el contenido físico, que en la fundamentación matemática, y por tanto, más apropiada al currículum del Grado.

La versión actual de la metodología docente se ve inspirada por toda la serie de descubrimientos y proyectos científicos en cosmología y astrofísica de los últimos años. Muy en particular, la detección por primera vez de las llamadas ondas

gravitacionales, lo es más que previsible que se consiga en los años venideros, daría una confirmación más de la Relatividad General, y se abriría a la investigación una extraordinaria forma de ver el Universo. La divulgación de estos logros científicos tan actuales está generando que los estudiantes de Grado muestren un interés mayor en estudiar Relatividad General que anteriormente.

### 3. REQUISITOS PREVIOS REQUERIDOS PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Para un adecuado seguimiento de la asignatura, es necesario que el estudiante tenga los conocimientos previos que se dan en las asignaturas de Fundamentos de Física (I, II y III), Métodos Matemáticos (I, II, III y IV) y Mecánica Teórica del Grado. Y para poder comprender la conexión que existe entre Relatividad General y otras ramas de la Física resulta aconsejable también haber cursado las asignaturas de Electromagnetismo, Termodinámica y Física Cuántica.

Desde el punto de vista de la formulación matemática de la Relatividad General, es imprescindible un conocimiento de la Geometría Diferencial y el Análisis Tensorial, que se dan en la asignatura de Métodos Matemáticos IV. También es recomendable haber tenido un contacto previo con las ecuaciones en derivadas parciales y sus métodos de resolución elementales (separación de variables). El estudiante también deberá estar familiarizado con las ideas básicas de los métodos de análisis por aproximación de soluciones.

### 4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

En el Bloque 1 de los Contenidos,

- 1.1 Comprender conceptualmente la física prerrelativista y la física relativista en el marco común del espacio-tiempo.
- 1.2 Comprender los principios de equivalencia y covariancia de la teoría relativista.
- 1.3 Dominar la descripción geométrica del espacio-tiempo y comprender el significado matemático y físico de la curvatura.
- 1.4 Tener habilidad para analizar la Física de un espacio curvado, mediante el análisis tensorial y la geometría diferencial.

En el Bloque 2 de los Contenidos,

- 2.1 Saber plantear las ecuaciones del campo gravitacional de Einstein y resolverlas en algunos casos sencillos.
- 2.2 Saber interpretar las soluciones a las ecuaciones de campo, desde el punto de vista físico y geométrico.
- 2.3 Conocer las distintas comprobaciones experimentales de la Relatividad General, en sus aspectos teórico y numérico.
- 2.4 Saber aplicar el límite newtoniano a las ecuaciones de campo, cuando la gravedad es débil, entendiendo su ámbito de aplicación y sus excepciones.
- 2.5 Conocer la importancia del estudio de las ondas gravitacionales, y saber obtener las ecuaciones que las rigen en una teoría linealizada de la gravedad.

En el Bloque 3 de los Contenidos,

- 3.1 Saber describir el Universo y su evolución aplicando los postulados de la Relatividad General.
- 3.2 Conocer las características básicas generales del modelo cosmológico estándar, y saber obtener las conclusiones

que se deducen de su aplicación.

3.3 Conocer la relevancia de algunos aspectos avanzados de la teoría (Estructura causal y singularidades, Agujeros negros y Termodinámica, Efectos cuánticos y gravitación), y comprender sus fundamentos básicos con los métodos matemáticos estándar utilizados en la asignatura.

## 5. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

### Bloque 1. Fundamentos matemáticos

1. Introducción. Física relativista. Principios generales de equivalencia y covariancia
2. Métrica y espacio-tiempo. Curvatura. Física en espacios curvados

### Bloque 2. Teoría de la Relatividad General y su comprobación experimental

1. Ecuaciones de campo de la Relatividad General. Solución de Schwarzschild
2. Tests clásicos de la Relatividad General. Límite newtoniano. Ondas gravitacionales

### Bloque 3. Cosmología y aspectos avanzados de la teoría

1. El Universo y su evolución. Modelo cosmológico estándar.
2. Introducción a aspectos avanzados de Relatividad General. Estructura causal y singularidades, Agujeros negros y Termodinámica, Efectos cuánticos y gravitación.

## 6. EQUIPO DOCENTE

- [ALVARO GUILLERMO PEREA COVARRUBIAS](#)
- [MANUEL ARIAS ZUGASTI](#)

## 7. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

De manera general, la docencia se impartirá a través de un curso virtual dentro de la plataforma educativa de la UNED, complementado con la asistencia personalizada del equipo docente y la tutorización presencial y telemática en los Centros Asociados.

### Curso virtual

Dentro del curso virtual el alumnado dispondrá de:

1. Guía del curso, donde se establecen los objetivos concretos y los puntos de interés.
2. Programa, donde se especifica la división del contenido por capítulos.
3. Procedimiento, donde se sugieren al alumno las tareas que debe realizar.
4. Recursos, donde se proporciona el material necesario para el estudio.
5. Ejemplos de exámenes, donde se orienta sobre las pruebas escritas y se muestran ejemplos de exámenes de cursos anteriores.

#### ▪ Actividades y trabajos:

1. Pruebas de evaluación a distancia en línea.
2. Elaboración de trabajos individuales o en equipo.

#### ▪ Comunicación:

1. Correo, para comunicaciones individuales.
2. Foros de Debate, donde se intercambian conocimientos y se resuelven dudas de tipo académico general.

3. Grupos de trabajo, para intercambiar información dentro de los grupos.

En el Curso Virtual se establece un calendario de estudio de la asignatura, junto con el conjunto de actividades de aprendizaje recomendadas, con una estimación del tiempo que se debe dedicar a cada tema. El estudiante abordará de forma autónoma el estudio de los contenidos del libro de texto base. Con cada tema se introducirá en el Curso un material complementario consistente fundamentalmente en aplicaciones prácticas de las ideas teóricas, señalando en detalle cuáles son las ideas básicas que intervienen en cada resultado. Asimismo en el Curso Virtual se introducirán ejercicios de autocomprobación mediante los cuales los estudiantes puedan comprobar su grado de asimilación de los contenidos.

El curso consta de cinco ECTS, equivalentes a 125 horas de trabajo. Para la realización de todas las actividades que constituyen el estudio de la asignatura, el estudiante deberá organizar y distribuir su tiempo de forma personal y autónoma, adecuada a sus necesidades. Es recomendable que del tiempo total necesario para la asignatura se dedique, al menos el 70 %, al estudio de los contenidos del programa y de ejercicios y problemas (con una proporción del 50 % teoría-problemas) reservando el resto para la lectura de las instrucciones y guía didáctica, actividades complementarias, asistencia a tutorías, y pruebas de evaluación continua.

## 8.EVALUACIÓN

1. PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA se propondrán actividades de evaluación continua a través de la plataforma virtual. Aunque su entrega no es obligatoria el equipo docente, se recomienda su realización como una buena pauta de estudio y como la mejor vía para plantear dudas de interés general. Véase la información publicada en el Curso Virtual para la puntuación de las mismas.

### 2. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

No existen.

### 3. PRUEBAS PRESENCIALES

Los exámenes constarán varios problemas y/o cuestiones propuestos que el estudiante deberá resolver. Los exámenes serán similares a los problemas comentados, corregidos o propuestos en el curso virtual y a las pruebas de evaluación continua, y podrán incluir también cuestiones cortas sobre conceptos básicos del temario. El enunciado del examen aportará los datos que se estimen necesarios para la realización de éste.

### 4. CURSO VIRTUAL

La participación y utilización de la plataforma virtual para esta asignatura es considerada de modo muy favorable por el equipo docente. Se realizara principalmente a través de las Pruebas de Evaluación Continua pero dependiendo del interés del alumnado se podrá plantear la resolución de otras dudas, problemas, exámenes anteriores... en las secciones y foros correspondientes del Curso Virtual.

## 9.BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13): 9780226870335  
Título: GENERAL RELATIVITY (1ST)  
Autor/es: Robert M. Wald ;  
Editorial: CHICAGO UNIVERSITY PRESS

Buscarlo en Editorial UNED

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

ISBN(13): 9780521829519

Título: GENERAL RELATIVITY: AN INTRODUCTION FOR PHYSICISTS. (Cambridge University Press 2006)

Autor/es: Hobson, M. P. ; Lasenby, A.N. ; Efstathiou, G.P. ;

Editorial: : CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

Buscarlo en Editorial UNED

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

#### Comentarios y anexos:

Se recomienda el libro de Hobson para una primera lectura comprensiva de los contenidos, junto con los apuntes del curso virtual, y el libro de Wald para estudiar y comprender los aspectos más matemáticos de la teoría de la relatividad general.

## 10. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

#### Comentarios y anexos:

Libros de texto:

R. C. Tolman, "Relativity, Thermodynamics and Cosmology", Oxford, 1934.

R. d'Inverno, "Introducing Einstein's Relativity", Oxford University Press, 1992.

B. Schutz, "A first course in General Relativity", Cambridge University Press, 2009.

F. de Felice y C.J.S. Clarke, "Relativity on curved manifolds", Cambridge University Press, 1990.

A.P. Lightman y otros, "Problem book in Relativity and Gravitation", Princeton University Press, 1975.

Libros de divulgación:

A. Einstein, "The meaning of relativity". Hay versión en castellano, "El significado de la Relatividad", Espasa, 2005.

K. S. Thorne "Black holes and time warps", Norton Company, . Hay versión en castellano, "Agujeros negros y tiempo curvo", Drakontos, Ed. Critica, 1995.

S. Hawking, "A brief history of time". Hay versión en castellano, "Historia del tiempo: Del big bang a los agujeros negros", Ed. Grijalbo, 1988

## 11. RECURSOS DE APOYO

## ■ GUÍA DICÁCTICA

Para cada tema incluye una introducción, un esquema guión, los objetivos de aprendizaje, bibliografía complementaria, enlaces a páginas web y ejercicios de autoevaluación.

## ■ CURSO VIRTUAL

El seguimiento de la asignatura se realizará a través de un Curso Virtual. En el Curso Virtual podrá encontrar información actualizada sobre el curso y diversos materiales complementarios para la preparación de la misma. Dispondrá además de diferentes herramientas de comunicación con los docentes, tanto profesores tutores de los Centros Asociados, como profesores de la Sede Central, y con los demás alumnos del curso. El correo electrónico y los foros de discusión le permitirán formular preguntas, leer las dudas y debatirlas con otros compañeros, y comentar las respuestas del profesor a las cuestiones planteadas.

## ■ TUTORÍA

Los profesores tutores de los Centros Asociados prestan a los alumnos una ayuda directa y periódica para preparar el programa de la asignatura. Es muy conveniente que al comienzo del curso el alumno se ponga en contacto con el Centro Asociado al que está adscrito para recibir la información y las orientaciones pertinentes.

## ■ BIBLIOTECA CENTRAL Y DE LOS CENTROS ASOCIADOS

Con su carnet de estudiante, el alumno tendrá acceso a las distintas bibliotecas especializadas de los Centros Asociados y a la de la Sede Central, donde podrá consultar o retirar como préstamo la bibliografía básica propuesta por el Equipo Docente y, al menos, parte de la bibliografía recomendada. Además, a través de la biblioteca de la Sede Central tendrá acceso a catálogos, revistas científicas, libros electrónicos.

## 12.TUTORIZACIÓN

Para consultas sobre esta asignatura, diríjase al Tutor en su Centro Asociado; o bien, a cualquiera de los Profesores en la Sede Central, por correo, teléfono o e-mail de la forma que se indica a continuación.

Postales:

Prof. Álvaro Perea y Prof. Manuel Arias

UNED

Facultad de Ciencias

Departamento de Física Matemática y Fluidos

Apdo. 60141

28080 Madrid

Presenciales:

Facultad de Ciencias, Senda del Rey, n.º 9. 28040 Madrid

D. Alvaro Perea

Despacho 209b. Tel.: 91 398 72 19. Correo electrónico: aperea@dfmf.uned.es

D. Manuel Arias

Despacho 230. Tel.: 91 398 71 27. Correo electrónico: maz@dfmf.uned.es

El horario habitual de permanencia de los Profesores de esta asignatura en la Universidad, es de 9 a 17 horas, de lunes a viernes. Se aconseja a los alumnos que realicen sus consultas durante el horario designado (los lunes de 16 a 20 horas), cuando podrán contactar fácilmente con los profesores. Si desean hacer una consulta en el despacho y no pueden en este horario, llamen por teléfono para concertar una hora en otro momento.

CURSO VIRTUAL:

A través del CURSO VIRTUAL de la asignatura se mantendrá información actualizada sobre esta asignatura. En los Foros correspondientes se publicarán las noticias de interés y se resolverán las dudas. Se recomienda encarecidamente el uso de esta vía para cualquier contacto con el equipo docente.