

#### 4 Guía docente de la asignatura

<b>Asignatura</b>	<b>Gravitación y Cosmología</b>		
<b>Materia</b>	Física		
<b>Titulación</b>	Grado en Física		
<b>Plan</b>	469	<b>Código</b>	45765
<b>Periodo de impartición</b>	2º cuatrimestre	<b>Tipo/Carácter</b>	OP
<b>Nivel/Ciclo</b>	Grado	<b>Curso</b>	3º y/o 4º
<b>Créditos ECTS</b>	6		
<b>Lengua en que se imparte</b>	Español		
<b>Profesores responsables</b>	Mariano Santander Navarro		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	Email: mariano.santander@uva.es		
<b>Horario de tutorías</b>	Consultar los horarios específicos establecidos para cada grupo		
<b>Departamento</b>	Física Teórica, Atómica y Óptica		

### 1. Situación / Sentido de la Asignatura

#### 1.1 Contextualización

Gravitación y Cosmología es una introducción a la Teoría de la Gravedad, en el contexto de la Teoría de la Relatividad de Einstein, y a sus aplicaciones a diferentes niveles, desde la escala del laboratorio o terrestre, hasta la descripción actualmente vigente del Universo en su conjunto.

#### 1.2 Relación con otras materias

La relatividad ocupa un lugar singular en la red de teorías físicas. Por un lado es una etapa al final de la Física llamada clásica, y engloba la descripción más precisa que conocemos actualmente de los fenómenos que es válida para todas las energías. La Relatividad Especial extiende la descripción del movimiento de la Mecánica Newtoniana (válida sólo a energías y/o velocidades bajas), y da el marco correcto en el que se entiende el Electromagnetismo y la Óptica. Por el otro lado, la Relatividad es el necesario punto de partida de todas aquellas teorías que tratan de describir las situaciones que involucran acciones pequeñas, especialmente las asociadas a energías relativamente altas; mientras que la parte más elemental de la Mecánica Cuántica, de la Física Atómica y/o de Estado sólido es no-relativista, en cuanto se sale del rango de energías bajas y se interna uno en la Física Nuclear o en la Teoría de Partículas Elementales, la consistencia con la Relatividad Especial es imprescindible, lo que nos aboca a la Teoría Cuántica de Campos

#### 1.3 Prerrequisitos

Es sumamente conveniente haber asimilado los conocimientos impartidos en las asignaturas de Física y de matemáticas impartidas en los dos primeros cursos. Se procurará que el desarrollo del curso sea lo más autocontenido posible, recordando o insistiendo en aquellos tópicos que aunque pudieran haberse visto en asignaturas anteriores vayan a ser más necesarios, o en los que un cambio de perspectiva resulte conveniente para el desarrollo.

La asignatura será más accesible si se tiene una base razonable en Mecánica Clásica, en electromagnetismo, en cálculo de varias variables y en Geometría Diferencial, al nivel que se pueda haber dado en los cursos anteriores.

## 2. Competencias

---

### 2.1 Generales

---

Se reproducen las competencias generales pertinentes del plan de estudios del grado y una nueva.

T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8, T9: : Capacidad de análisis y de síntesis, de organización y planificación, de comunicación oral y escrita, de resolución de problemas, de trabajar en equipo, de trabajo y aprendizaje autónomo, de adaptación a nuevas situaciones.

T999: Además de estas competencias deseables, la competencia más relevante que se pretende conseguir es llegar a ser competente en .... la materia de la asignatura.

### 2.2 Específicas

---

E02: Ser capaz de presentar un tema académico o una investigación propia tanto a profesionales como a público en general.

E03: Ser capaz de iniciarse en nuevos campos a través de estudios independientes.

E05: Ser capaz de realizar las aproximaciones requeridas con el objeto de reducir un problema hasta un nivel manejable.

E07: Ser capaz de desarrollar software propio y manejar herramientas informáticas convencionales.

E11: 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.

E13: Estar adecuadamente preparado para ejercitar una labor docente.

E17: Ser capaz de mantenerse informado de los nuevos desarrollos.

E19: Ser capaz de integrar los conocimientos recibidos de las diferentes áreas de la Física para la resolución de un problema.

E00: Ser capaz de conjeturar cual es el número real de ésta competencia específica. El alumno que lo consiga, deberá enviar de inmediato un e-mail al profesor y será debidamente reconocido por ello.

E29: Comprender y dominar el uso de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados.

## 3. Objetivos

---

- Entender las ideas básicas en la Teoría de la Relatividad Especial y General en su aspecto físico.
- Conocer y manejar con soltura las matemáticas necesarias para estudiar esta teoría
- Aprender en qué sentido la Relatividad tiene un aspecto geométrico que describe la Estructura del Espacio-Tiempo y conocer los efectos básicos sobre la medida de duraciones que predice la teoría, tanto la componente cinemática (Relatividad Especial) como Gravitatoria (Relatividad General)
- Disipar los malentendidos existentes en la percepción popular y no tan popular de estas teorías.
- Entender la prodigiosa economía de medios con que la Relatividad describe de manera completamente exitosa y verificada experimental y observacionalmente las interacciones básicas: electromagnetismo y gravitación.
- Entender qué significa la idea "curvatura del Espacio-Tiempo" y conocer con cierto detalle cómo se describe esta curvatura mediante el tensor de curvatura.
- Conocer el significado físico del tensor de curvatura y familiarizarse con la descripción de la gravitación como un fenómeno con tres niveles: potencial/métrica, intensidad de campo/conexión y campo de marea/tensor de curvatura.
- Conocer y manejar de manera básica los programas de cálculo simbólico que permiten efectuar de manera automatizada y sin errores los procesos de cálculo necesarios
- Conocer la solución de Schwarzschild que describe el campo gravitatorio creado por una masa central, no rotante y con simetría esférica y derivar a partir de esta solución las predicciones clásicas de la teoría (precesión del periastro, desviación de la luz por el campo gravitatorio, desplazamiento gravitatorio hacia el rojo, todas ellas comprobadas en el sistema Solar)
- Tener una idea de otras soluciones importantes, especialmente de la de Kerr, que describe el campo gravitatorio creado por una masa rotante

- Conocer las predicciones de esta teoría y las verificaciones experimentales conseguidas, alguna bastante recientemente, como las ondas gravitatorias.
- Conocer la aplicación de las ideas de la Relatividad General a la Cosmología (Cosmología teórica).
- Tener una idea básica de la estructura del Universo observable a nivel Cosmológico (Cosmología observacional).

#### 4. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES	HORA S	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORA S
Clases teóricas	45	Estudio y trabajo autónomo individual	60
Clases prácticas de aula	10	Estudio y trabajo en grupo	10
Presentaciones, Ejercicios de cálculo simbólico, Seminarios, Discusiones	5	Preparación y redacción de trabajos y ejercicios	20
<b>Total presencial</b>	<b>60</b>	<b>Total no presencial</b>	<b>90</b>

#### 5. Bloques temáticos

##### Bloque 1: Relatividad Especial

Carga de trabajo en créditos ECTS:

##### a. Contextualización y justificación

Se presenta una introducción a la Relatividad Especial, enfatizando desde el principio que se trata de una teoría que describe cómo se comporta el Tiempo en la Naturaleza. Esto se hace desde un punto de vista moderno, siguiendo el cálculo  $k$  de Bondi y con un enfoque que encaje con el resto de la asignatura.

##### b. Objetivos de aprendizaje

Se pretende que el alumno conozca las ideas básicas, desde una perspectiva actual, de la Relatividad Especial. Se debe conseguir también familiaridad con la formulación covariante, con la estructura de las ecuaciones de movimiento relativistas y con la aparición del Electromagnetismo como la teoría relativista por excelencia. Finalmente es imprescindible conocer los aspectos nuevos que la Relatividad hace aparecer en la dinámica de partículas, en relación con las leyes de conservación. Finalmente, se pretende que el alumno sea capaz de entender que las llamadas Paradojas Relativistas son situaciones que no son paradójicas realmente, y que vea claramente porqué no lo son.

##### c. Contenidos

En este bloque se analizarán, al menos, los siguientes ítems:

Introducción histórica: Faraday, Maxwell, Einstein. Introducción conceptual: El Tiempo en la Naturaleza. Tiempo Propio. Cálculo  $k$ , Transformaciones de Lorentz e Invariancia local de Lorentz. Espacio de Minkowski. Energía / momento lineal y dinámica relativista. Leyes de conservación. El tensor de energía / esfuerzo. Electromagnetismo como teoría relativista. El campo electromagnético en lenguaje covariante. Derivaciones de las ecuaciones de Maxwell. Potenciales y campos: Invariancia gauge y experimentos tipo Aharonov-Bohm.

#### **d. Métodos docentes**

---

- Los míos. Lo siento, si no le gustan, no tengo otros
- Clases presenciales teórico-prácticas.
- Ejercicios propuestos a los estudiantes para su trabajo individual o colectivo.

#### **e. Plan de trabajo**

---

Exposición por parte del profesor de las ideas clave de cada capítulo del bloque. Desarrollo y estudio detallado de algunas situaciones con ejemplos. Propuesta de ejercicios para que sean resueltos por los alumnos; las dificultades encontradas mayoritariamente se discutirán en sesiones de Discusión.

#### **f. Evaluación**

---

El procedimiento de evaluación será, en este y en todos los bloques temáticos, una combinación de hasta tres canales, de los cuales algunos se llevarán a cabo independientemente del número de alumnos y otros solo serán posibles si el número de alumnos lo permite.

1a) Ejercicios propuestos para ser realizados en casa por los alumnos y entregados en las fechas establecidas. Se propondrán varios, dando fechas de entrega límite, y entre ellos habrá dos (cuya entrega será obligatoria) que serán calificados y que pesarán en la final según se indica en la Tabla al final de esta guía.

1b) Cuestiones planteadas por escrito en algunas clases, para las que se pedirán dos respuestas: una, a responder en un tiempo muy breve (unos 3 minutos) en la propia clase y otra en un plazo mayor de tres días. No tendrán influencia en las calificaciones, pero se pretende que sí la tengan en facilitar la identificación de los malentendidos más frecuentes.

2) Los estudiantes que lo escojan voluntariamente tendrán la opción (ver más abajo) de efectuar un trabajo, de entre una lista de temas ofrecida al comienzo de curso. El trabajo debe ser presentado en un Seminario colectivo al final de la asignatura, al que deberán asistir todos los que hayan escogido esa opción. Esta alternativa se podrá llevar a cabo o no dependiendo del número (esa es la razón de la posible limitación). En caso de escoger esta opción, la contribución adicional a la calificación final será la descrita en 1a).

3) Realización de un examen teórico/práctico al final del temario.

#### **g. Bibliografía básica**

---

- Se entregará una bibliografía completa al inicio de las clases.

#### **h. Bibliografía complementaria**

---

- Se entregará una bibliografía completa al inicio de las clases.

#### **i. Recursos necesarios**

---

Para las clases teórico-prácticas, aula con una pizarra MUY amplia. Ocasional, pero no regularmente se emplearán sistemas de proyección y/o exploraciones vía conexión a internet. Se usará también programas de cálculo simbólico de elaboración propia.

### **Bloque 2: Teoría de Einstein de la Gravitación**

---

Carga de trabajo en créditos ECTS: 

3,5
-----

#### **a. Contextualización y justificación**

---

Se trata del corazón de la asignatura. Hay dos enfoques posibles existentes en la enseñanza de esta

teoría, resumidos como “Primero la Física” o “Primero las matemáticas”. Hasta hace unos 15 años el enfoque empleado de manera casi exclusiva era el “matemáticas primero”, enfoque que sigue el orden histórico y tiene alguna posible ventaja en cursos de mayor duración. Para este curso limitado a un cuatrimestre, nos decantaremos por la primera opción, “Primero la Física”, en línea con los excelentes textos recientes como el de Hartle o el de Schutz, que no hacen sino marcar una tendencia reciente, creciente y aconsejable en esta asignatura

---

#### **b. Objetivos de aprendizaje**

---

Se pretende que el alumno conozca y entienda las ideas esenciales de esta teoría, desde un punto de vista deliberadamente no formalista, aunque tampoco desfigurado. El mensaje final es que se puede considerar la Gravitación no como una interacción, sino como una consecuencia de que el Espacio-Tiempo tiene curvatura, y el objetivo de aprendizaje es llegar a entender esta idea. A pesar de que se trata de una idea bastante compleja, todas las consecuencias que han sido sometidas a contraste experimental u observacional, sin excepción, se han comprobado con una impresionante precisión. Es por ello razonable poner como objetivo de aprendizaje el conocer los experimentos u observaciones esenciales en esta comprobación de la teoría.

---

#### **c. Contenidos**

---

Descripción clásica de la gravitación Newtoniana. Reinterpretación de la GN como una teoría de curvatura del Espacio-Tiempo, con el campo de marea como manifestación de la curvatura. Desarrollo de la Teoría de Einstein de la Gravedad: los “principios” de equivalencia y covariancia general. La gravedad Newtoniana como límite “no relativista”. Nuevas características de la gravedad de Einstein: universalidad, geometría del espacio-tiempo. El campo de Schwarzschild y cálculo de los efectos clásicos. Agujeros negros. Ecuaciones de Einstein: derivaciones. Predicciones y verificaciones experimentales de la teoría desde 1919 (los tres tests clásicos), confirmaciones desde la década de los 1960 (Pound-Rebka, Hafele-Keating y sucesores, retraso del eco de radar) hasta la actualidad: ondas gravitatorias, el campo gravimagnético, el arrastre de los sistemas localmente inerciales.

---

#### **d. Métodos docentes**

---

Idénticos en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

---

#### **e. Plan de trabajo**

---

Idéntico en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

---

#### **f. Evaluación**

---

Idéntica en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

---

#### **g. Bibliografía básica**

---

Véase el comentario en el primer bloque de la asignatura (bloque 1).

---

#### **h. Bibliografía complementaria**

---

Véase el comentario en el primer bloque de la asignatura (ver bloque 1).

---

#### **i. Recursos necesarios**

---

Idénticos en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

### Bloque 3: Cosmología

---

Carga de trabajo en créditos ECTS:

#### a. Contextualización y justificación

---

La práctica totalidad de lo que se conoce hoy en el campo de la Cosmología es posterior al año 1917, que se considera la fecha fundacional de la Cosmología moderna. En esta fecha, tras haber establecido su teoría de la gravedad, Einstein inició el programa de basar los modelos teóricos para describir el Universo en su conjunto en su recién acabada teoría de la Relatividad General. Este programa ha conocido un éxito muy destacado y actualmente subyace al modelo Cosmológico Estandar. Por otra parte, la astrofísica y cosmología observacional han conocido un impresionante avance en los últimos 50 años, acelerado terriblemente en los últimos 25. Se trata de dar en esta parte de la asignatura una visión global rápida de estos desarrollos.

#### b. Objetivos de aprendizaje

---

Conocer las ideas básicas, teóricas y observacionales, que forman los pilares de la cosmología actual. Conocer los impresionantes desarrollos observacionales que han ocurrido en los últimos 50 años y tener una buena primera aproximación del estado actual del conocimiento en esta materia.

#### c. Contenidos

---

Una introducción rápida a los puntos más salientes de la Cosmología teórica y observacional. Modelos cosmológicos de Lemaître-Friedman-Robertson-Walker. Los pilares de la cosmología actual: expansión de Hubble, evolución cosmológica, el Big-Bang, fondo cósmico de microondas y expansión acelerada. Nucleosíntesis primordial y evolución del Universo primitivo. Materia oscura y energía oscura. La constante cosmológica.

#### d. Métodos docentes

---

Idénticos en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

#### e. Plan de trabajo

---

Idéntico en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

#### f. Evaluación

---

Idéntica en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

#### g. Bibliografía básica

---

Véase el comentario en el primer bloque de la asignatura (ver bloque 1).

#### h. Bibliografía complementaria

---

Véase el comentario en el primer bloque de la asignatura (ver bloque 1).

#### i. Recursos necesarios

---

Idénticos en todos los bloques de la asignatura (ver bloque 1).

## 6. Temporalización (por bloques temáticos)

BLOQUE TEMÁTICO	CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
Relatividad Especial	2	5 semanas (aproximadamente)
Teoría de Einstein de la Gravitación	3,5	8 semanas (aproximadamente)
Cosmología	0,5	1 semanas (aproximadamente)

## 7. Tabla resumen del sistema de calificaciones

La calificación final será una combinación de tres canales, como se ha comentado en el apartado 'Calificaciones' del bloque 1.

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERV.
Dos Ejercicios calificables propuestos para casa	20%	
Exposición de trabajo individual específico	5% (adicional)	
Examen final	80%	

## 8. Consideraciones finales

En uso de la libertad de cátedra reconocida en la Constitución Española, ha de entenderse que, en función de los planteamientos académicos del profesor que imparta esta asignatura, alguno de los planteamientos generales aquí establecidos podrán variar, lo cual se hará constar en la información actualizada disponible en la Intranet y accesible a los alumnos matriculados.