

Curso

2016-2017

# Guía Docente del Máster en Física Teórica



Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense de Madrid

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.1. Estructura general.....	3
1.2. Materias .....	3
1.3. Asignaturas.....	4
1.4 Complementos de Formación .....	4
1.5 Competencias .....	6
<b>2. Fichas de las asignaturas.....</b>	<b>10</b>
Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales .....	11
Fenomenología del Modelo Estándar .....	15
Campos y Cuerdas.....	19
Física Experimental de Partículas y Cosmología .....	23
Física de Astropartículas .....	29
Complementos de Análisis Matemático en Física .....	33
Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física .....	36
Modelos Integrables en Física.....	39
Sistemas Complejos .....	42
Relatividad General.....	47
Física del Modelo Cosmológico Estándar .....	51
Información Cuántica y Computación Cuántica .....	55
Simulación Cuántica.....	59
Trabajo Fin de Máster .....	63
<b>3. Tabla de horarios.....</b>	<b>65</b>
<b>4. Calendario académico.....</b>	<b>66</b>
4.1. Calendario gráfico .....	67

# 1. Introducción

## 1.1. Estructura general

El Máster en Física Teórica de la UCM tiene duración de un año y 60 créditos ECTS. Esta distribuido en 4 materias. El alumno deberá cursar 4 asignaturas obligatorias en el primer semestre, una por materia, y 4 optativas, en el segundo semestre, a elegir entre las que figuran en el Apartado 1.3 de esta Guía. Cada asignatura corresponde a 6 créditos ECTS. El Trabajo Fin de Máster es también obligatorio y corresponde a 12 créditos ECTS.

El Máster se basa en el crédito ECTS. Cada crédito ECTS se corresponde con 7.5 horas de lecciones y 20 horas de trabajo personal del alumno supervisado por el profesor. Debido a la necesidad de una constante interacción profesor-alumno, no se contempla la posibilidad de cursar el Máster sin acudir a las clases.

## 1.2. Materias

Las materias de las que se compone el Máster son:

- Interacciones Fundamentales
- Métodos Matemáticos y Estadísticos
- Cosmología y Relatividad General
- Información Cuántica

### 1.3. Asignaturas

En la tabla siguiente figuran las asignaturas por materia, los créditos y su carácter.

Materia	Asignatura	Carácter	Créditos
Interacciones Fundamentales	Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales	Obligatoria	6
	Fenomenología del Modelo Estándar	Optativa	6
	Campos y Cuerdas	Optativa	6
	Física de Astropartículas	Optativa	6
	Física Experimental de Partículas y Cosmología	Optativa	6
Métodos Matemáticos y Estadísticos	Complementos de Análisis Matemático en Física	Obligatoria	6
	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física	Optativa	6
	Modelos Integrales en Física	Optativa	6
	Sistemas Complejos	Optativa	6
Cosmología y Relatividad General	Relatividad General	Obligatoria	6
	Física del Modelo Cosmológico Estándar	Optativa	6
Información Cuántica	Información Cuántica y Computación Cuántica	Obligatoria	6
	Simulación Cuántica	Optativa	6
Trabajo fin de Máster		Obligatoria	12

### 1.4 Complementos de Formación

Con carácter excepcional, y sólo para aquellos alumnos que presenten alguna carencia específica en sus conocimientos de Física Teórica, se recomendará que cursen ciertos complementos formativos, según sugiera para cada alumno concreto la Comisión Coordinadora del Máster, a la vista de su historial académico. Dichos complementos formativos consistirán en asignaturas de tercer y cuarto curso del Grado en Física ofrecido por la Facultad de Físicas de la UCM. Para aquellos alumnos que hayan cursado grados de 240 créditos, el número de asignaturas recomendadas nunca será superior a cuatro. En concreto se podrá recomendar alguna de las siguientes asignaturas:

- Del tercer curso del Grado de Física de la UCM:

Mecánica Cuántica,  
Geometría Diferencial y Cálculo Tensorial.

- Del cuarto curso del Grado de Física de la UCM:

Electrodinámica Clásica,  
Cosmología,  
Relatividad General y Gravitación,  
Partículas Elementales,  
Mecánica Teórica,  
Campos Cuánticos,  
Física Estadística II,  
Simetrías y Grupos en Física.

La elección concreta de las asignaturas que se sugerirá cursar a cada alumno deberá contar con el visto bueno de la Comisión Coordinadora del Máster, en función de los intereses científicos del alumno y la orientación (académica o de investigación) elegida. Los alumnos cursarán dichas asignaturas en las mismas condiciones que los alumnos de Grado, por lo que los contenidos, actividades formativas, sistemas de evaluación, etc. de estos complementos formativos serán los mismos que los de las correspondientes asignaturas de Grado. Si bien en términos generales será la Comisión Coordinadora del Máster la que sugiera los posibles complementos formativos en cada caso concreto, consideramos que los perfiles de ingreso esperados serán los siguientes:

a) Graduado o licenciado en Física con orientación de Física Aplicada: se recomendarán hasta cuatro de las siguientes asignaturas en función de los intereses del alumno: Campos cuánticos, Geometría Diferencial y Cálculo Tensorial, Relatividad General y Gravitación, Simetrías y Grupos en Física, Partículas Elementales, Cosmología, Mecánica Teórica.

b) Graduados o licenciados en Matemáticas sin conocimientos en Mecánica Cuántica y Teorías de Campos: se recomendarán hasta cuatro de las siguientes asignaturas en función de los intereses del alumno: Mecánica Cuántica, Campos Cuánticos, Electrodinámica Clásica, Cosmología, Partículas Elementales, Física Estadística II.

c) Ingenieros con conocimientos básicos de Física Teórica: se recomendarán hasta cuatro de las siguientes asignaturas en función de los intereses del alumno: Mecánica Cuántica, Campos Cuánticos, Cosmología, Partículas Elementales, Física Estadística II, Simetrías y Grupos en Física, Relatividad General y Gravitación.

## 1.5 Competencias

El Máster está diseñado para proporcionar una base sólida para desarrollar estudios de doctorado en temas de investigación punteros, y dota al alumno de competencias en el uso de herramientas matemáticas y métodos avanzados de cálculo que son extremadamente útiles no solamente en Física Teórica sino en otros campos.

CB6 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

CB7 Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio

CB8 Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios

CB9 Que los 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

CB10 Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CG1 Adquirir conocimientos avanzados y demostrar, en un contexto de investigación científica altamente especializada, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en Física Teórica;

CG2 Saber aplicar e integrar sus conocimientos, la comprensión de estos, su fundamentación científica y sus capacidades de resolución de problemas y de modelización en entornos nuevos y definidos de forma imprecisa, incluyendo contextos de carácter multidisciplinar altamente especializados en Física Teórica

CG3 Saber evaluar y seleccionar la teoría física adecuada y la metodología precisa de la Física Teórica para formular juicios a partir de información incompleta o limitada incluyendo, cuando sea preciso y pertinente, una reflexión sobre la responsabilidad social o ética ligada a la solución que se proponga en cada caso;

CG4 Conocer y utilizar herramientas informáticas relativas al ámbito de estudio

CG5 Localizar y gestionar la información relevante a un problema físico.

CG6 Integrar herramientas teóricas, datos experimentales y técnicas de simulación numérica.

CG7 Ser capaces de predecir y controlar la evolución de situaciones complejas mediante el desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías de trabajo adaptadas al ámbito científico/investigador de la Física Teórica, experimental o en general multidisciplinar.

CG8 Saber transmitir de un modo claro y sin ambigüedades a un público especializado o no, resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica o del ámbito de la innovación más avanzada, así como los fundamentos más relevantes sobre los que se sustentan;

CG9 Desarrollar la autonomía suficiente para participar en proyectos de investigación y colaboraciones científicas o tecnológicas dentro de la Física Teórica y la frontera experimental de la Física, en contextos interdisciplinares y, en su caso, con una alta componente de transferencia del conocimiento;

CG10 Localizar y analizar la bibliografía científica y especializada pertinente con el objeto de elaborar trabajos de investigación y desarrollar proyectos técnicos.

CG11 Ser capaz de organizar, comunicar y transmitir conocimientos de forma clara a la sociedad, tanto en ámbitos docentes como no docentes. Ilustrar y expresar la ciencia y sus aplicaciones, como parte fundamental de la cultura, integrando su vertiente ética.

CT1 Desarrollar un pensamiento y un razonamiento crítico, la capacidad de análisis y de síntesis y el pensamiento científico y sistémico.

CT2 Trabajar de forma autónoma y saber desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.

CT3 Gestionar el tiempo y los recursos disponibles. Trabajar de forma organizada.

CT4 Capacidad para prevenir y solucionar problemas, adaptándose a situaciones imprevistas y tomando decisiones propias.

CT5 Capacidad para trabajar en entornos complejos o inciertos y con recursos limitados.

CT6 Evaluar de forma crítica el trabajo realizado.

CT7 Capacidad para trabajar cooperativamente asumiendo y respetando el rol de los diversos miembros del equipo, así como los distintos niveles de dependencia del mismo.

CT8 Adaptarse a entornos multidisciplinarios e internacionales.

CT9 Comunicar eficientemente de forma oral y/o escrita conocimientos, resultados y habilidades, tanto en entornos profesionales como ante públicos no expertos.

CT10 Hacer un uso eficiente de las TIC en la comunicación y transmisión de ideas y resultados.

CE1 Conocer y comprender los elementos más relevantes de la Física Teórica actual. Profundizar en la comprensión de las teorías que se encuentran en la frontera de la Física, incluyendo su estructura matemática, su contrastación con resultados experimentales, y la descripción de los fenómenos físicos que dichas teorías explican.

CE2 Adquirir la capacidad de resolver problemas físicos avanzados, usando métodos tanto analíticos como numéricos. Comprender y dominar el uso de los métodos matemáticos utilizados en la Física Teórica. Desarrollar la capacidad de cálculo matemático avanzado.

CE3 Modelizar sistemas de alto grado de complejidad. Identificar variables y parámetros relevantes y realizar aproximaciones que simplifiquen el problema. Construir modelos físicos que describan y expliquen situaciones en ámbitos diversos.

CE4 Ser capaz de aplicar las herramientas informáticas adecuadas a la resolución de problemas propios de la Física Teórica. Utilizar y desarrollar sistemas de computación y programas para procesar la información, hacer simulaciones numéricas, análisis estadístico, presentar resultados, etc.

CE5 Evaluar los datos procedentes de experimentos en Física Fundamental, analizar sus

resultados y compararlos con las previsiones de los modelos teóricos.

CE6 Elaborar proyectos innovadores de desarrollo tecnológico y/o de investigación. Ser capaz de diseñar, ejecutar y presentar públicamente el Trabajo de Fin de Master y de Introducción a la Investigación en temas situados en la frontera de la Física Teórica.

ASIGNATURA	TIPO DE ASIGNATURA	MATERIA	COMPETENCIAS																															
FISICA DE LIMITE DE LOS COSMOS MOLOGIA ESTANDAR RELATIVIDAD GENERAL	Optativa	Cosmología/Relatividad General	COMPETENCIAS BÁSICAS GENERALES																															
	Obligatoria	Cosmología/Relatividad General	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
INFORMACION CUANTICA COMPUTACION CUANTICA SIMULACION CUANTICA	Obligatoria	Información Cuántica	COMPETENCIAS BÁSICAS GENERALES																															
	Obligatoria	Información Cuántica	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
CAMPOS Y FUERZAS FENOMENOLOGIA DELIM O DEL ESTANDAR FISICA DE SISTEMAS PROPARTICULAS FISICA EXPERIMENTAL DEPARTICULAS Y COSMOLOGIA TEORIAS Y APLICACIONES DE LA SIMULACION EN SISTEMAS FUNDAMENTALES	Optativa	Interacciones Fundamentales	COMPETENCIAS BÁSICAS GENERALES																															
	Optativa	Interacciones Fundamentales	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
COMPLEMENTOS DE ANALISIS MATEMATICO EN FISICA COMPLEMENTOS DE ELECTROMAGNETISMO EN FISICA METODOS NUMERICOS EN ELECTROMAGNETISMO EN FISICA METODOS NUMERICOS EN FISICA SISTEMAS COMPLEJOS	Obligatoria	Métodos Matemáticos Estadísticos	COMPETENCIAS BÁSICAS GENERALES																															
	Obligatoria	Métodos Matemáticos Estadísticos	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
TRABAJO DE FIN DE MASTER	Trabajo de fin de master		CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7	CG8	CG9	CG10	CG11	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6

## 2. Fichas de las asignaturas



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales</b>			<b>Código</b>	606794
<b>Materia:</b>	Interacciones fundamentales	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Antonio Dobado González			<b>Dpto:</b>	FTI
	<b>Despacho:</b>	231.0	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:dobado@fis.ucm.es">dobado@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
5A	M,J	10:00-11:30	Antonio Dobado	Todo el cuatrimestre		FTI

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Antonio Dobado	M,J: 11:30-13:00	dobado@fis.ucm.es	Despacho 231.0

### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Entender la formulación Lagrangiana de las Teorías Gauge abelianas y no abelianas.
- Aplicar la integral de camino y la cuantización de Teorías Gauge y entender las Anomalías.
- Entender y aplicar la renormalización y la evolución de las constantes de acoplo.
- Entender el concepto e implementación de la ruptura espontánea de simetría.
- Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil

### Resumen

Simetrías gauge abelianas y no abelianas, lagrangianos invariantes gauge. Cuantización por integral de camino, método de Fadeev-Popov. Anomalías. Evolución de las constantes con la escala y grupo de renormalización. Realización de integrales de camino. Teoría cuántica de campos. Teorías gauge y su cuantización.

### Conocimientos previos necesarios

Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

### Programa de la asignatura

#### 1. INTRODUCCIÓN

Introducción a la Teoría de Distribuciones y al Análisis Funcional. El Grupo de Lorentz y sus representaciones. Teoría Cuántica de Campos. Matriz  $S$ , secciones eficaces y anchuras de desintegración. Integral de Camino en Mecánica Cuántica y en Teoría Cuántica de Campos. La Fórmula de Reducción.

#### 2. TEORÍA DE PERTURBACIONES

Diagramas de Feynman. Correcciones radiativas. Regularización. Renormalización. Grupo de Renormalización.

### 3. TEORÍAS GAUGE

Casos abeliano y no abeliano. El Lagrangiano de una teoría invariante gauge. Cuantización de Teorías gauge abelianas y no abelianas: método de Fadeev-Popov. Reglas de Feynman. Teorías con ruptura espontánea de simetría. Mecanismo de Higgs.

### 4. EL MODELO ESTÁNDAR

Cromodinámica Cuántica. El Modelo GWS. La Estructura del Modelo Estándar.

#### Bibliografía

- M.E. Peskin, D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*. Addison Wesley 1995.
- L. Álvarez-Gaumé, M. A. Vázquez-Mozo: *An Invitation to Quantum Field Theory* Springer Verlag. 2012.
- T. P. Cheng, L.F. Li. *Gauge Theory of Elementary Particle Physics*, Clarendon Press (Oxford) 1984.
- S. Pokorski, *Gauge Field Theories*, Cambridge University Press 1987.
- D. Bailin, A. Love, *Introduction to Gauge Field Theory*. Cambridge University Press, 1987.
- E. Leader, E. Predazzi. *An Introduction to Gauge Theories and Modern Particle Physics* vols 1,2. Cambridge University Press 1996.
- F. J. Ynduráin, *Relativistic Quantum Mechanics and Introduction to Field Theory*, Springer Verlag 1996.
- F. J. Ynduráin, *The Theory of quark and gluon interactions*, Springer-Verlag 1999.
- S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, vols.I, II. Cambridge University Press 1994, 1995.
- P. Ramond, *Field Theory: A modern Primer*. Addison-Wesley Reading. 1990
- A. Zee. *Quantum Field Theory in a Nutshell*. Princeton University Press. 2010.
- H. Kleinert, *Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistical and Polymer Physics and Financial Markets*. World Scientific. Singapore. 2004.

#### Recursos en internet

Campus virtual

#### Metodología

Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase.

<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno (Ex). Se realizará un trabajo sobre un tema de la asignatura que el alumno deberá entregar o presentar públicamente en clase (Tr).		
<b>Calificación final</b>		
Nota = 0.6 Ex + 0.4 Tr		



## MASTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Fenomenología del Modelo Estándar</b>		<b>Código</b>	606795	
<b>Materia:</b>	Interacciones Fundamentales	<b>Módulo:</b>	Temas de Física Teórica		
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1	<b>Semestre:</b>	2

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Ignazio Scimemi			<b>Dpto:</b>	FTII
	<b>Despacho:</b>	11, Ala Oeste, 2ª Planta	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:ignazios@fis.ucm.es">ignazios@fis.ucm.es</a>	

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	M,V	10,00-11,30	I. Scimemi	Febrero a Abril	33,75	FTII
13	M,V	10,00-11,30	J.R. Peláez	Mayo	11,25	FTII

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
I. Scimemi	X,J: de 10:00 a 13:00	jrpelaez@fis.ucm.es	Despacho 11, segunda Planta, Ala Oeste
J.R. Peláez	L: 11:00 a 12:00, X: 14:00 a 16:00	ignazios@fis.ucm.es	Despacho 8, segunda Planta, Ala Oeste

### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil
- Entender la fenomenología de las interacciones electrodébiles. Bosones  $\gamma$  electrodébiles y ruptura de simetría.
- Entender la fenomenología de la cromodinámica cuántica: quarks y hadrones
- Ser capaz de realizar cálculos que describan los ejemplos más relevantes en sistemas físicos de interés en fenomenología de partículas.

### Resumen

- Conceptos básicos de Teorías de Campos para el Modelo Estándar.
- Teoría electrodébil y sus simetrías exactas y aproximadas. La ruptura espontánea de simetría electrodébil. Modelo de Glashow- Weinberg-Salam y el mecanismo de  $\gamma$ Higgs. Violación de CP. Oscilaciones de neutrinos.
- Interacciones fuertes. Modelo Quark. Color. Libertad asintótica. Cromodinámica Cuántica. Simetría Quiral y Física Hadrónica. Confinamiento.
- Los límites fenomenológicos del modelo estándar y búsqueda de alternativas.

### Conocimientos previos necesarios

Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

### Programa de la asignatura

#### 1. INTRODUCCIÓN

Repaso de Teoría de Perturbaciones, uso de Reglas de Feynman, Teorías gauge, matriz S y sus simetrías, secciones eficaces y desintegraciones. Procesos elementales en QED.

#### 2. INTERACCIONES ELECTRODÉBILES

Ruptura espontánea de Simetría. El modelo de Glashow-Weinberg-Salam. Bosones gauge masivos y ruptura espontánea de simetría. El mecanismo de Higgs. Física del bosón de Higgs. Correcciones radiativas.

Fermiones en el Modelo Estándar. Matriz CKM. Masas y oscilaciones de neutrinos. Matriz PMNS.

Violación de CP débil. Anomalías gauge y su cancelación en el Modelo Estándar.

### 3. INTERACCIONES FUERTES

- Modelo Quark. Color y clasificación de hadrones. Expansion en productos de operadores. Quarks pesados. ☐
- Ruptura espontánea de la Simetría Quiral y Física de Hadrones a Bajas Energías. Formulación de teorías efectivas para piones y kaones. ☐
- Funciones de Estructura de los hadrones: Dispersión elástica, reglas de suma del modelo quark. Dispersión inelástica. Scaling de Bjorken.
- ☐QCD: renormalización, libertad asintótica. Violación de scaling y ecuaciones DGLAP. Procesos de interés en QCD. El problema del confinamiento. Colisiones de iones Pesados y Plasma de Quarks y Gluones.

### • 4. LA FRONTERA DEL MODELO ESTÁNDAR

1. Teorías efectivas
2. Determinación de parámetros en el Modelo Estándar
3. El problema de CP fuerte

### Bibliografía

1. F.Halzen, A.D.Martin, *Quarks and Leptons*, John Wileyand Sons 1984.
2. J.F.Donoghue, E.Golowich, B.R.Holstein, *Dynamics of the Standard Model*, Cambridge University Pres 1994.
3. G.Kane. *Modern Elementary Particle Physics*, Addison-Wesley 1987.
- 4 B.R. Martin, G. Shaw, *Particle Physics*, John Wiley & Sons, 1992.
5. A.Dobado, A.Gómez Nicola, A.L.Maroto, J.R.Peláez, *Effective Lagrangians for the Standard Model*, Springer Verlag 1997.
6. W.Greiner, A.Shafer. *Quantum Chromodynamics*, Springer-Verlag 1994.
7. Fayyazuddin & Riazuddin, *A Modern Introduction to Particle Physics*, World Scientific, 2000.☐
8. D. Griffiths, *Introduction to Elementary Particles*, John Wiley & Sons, 1987.
9. *The Review of Particle Physics*. K. Nakamura et al. (Particle Data Group). *J. Phys G37*, 075021(2010)

<p>10. P. Pascual, R. Tarrach, <i>QCD for practitioners, Springer-Verlag, 1984</i></p> <p>11. S. Pokorski, <i>Gauge Field Theories, Cambridge monographs, 2001</i></p> <p>12. C. Burgess, G. Moore, <i>Standard Model (A primer), Cambridge University Press; Reprint editio (2012)</i></p> <p>13. R. K. Ellis, W.J. Stirling, B.R. Webber, <i>QCD and Collider Physics, Cambridge Monographs, 2003</i></p>		
<b>Recursos en internet</b>		
<p>PARTICLE DATA GROUP: <a href="http://pdg.lbl.gov/">http://pdg.lbl.gov/</a></p>		
<b>Metodología</b>		
<p>Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase.</p>		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de ejercicios entregables</b>	<b>Peso:</b>	50%
<p>Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno.</p>		
<b>Trabajos individuales</b>	<b>Peso:</b>	50%
<p>Se realizará un trabajo sobre un tema de la asignatura que el alumno deberá entregar o presentar públicamente en clase.</p>		
<b>Calificación final</b>		
<p>Un 5 con la realización de todos los ejercicios y asistencia regular a clase. Las notas superiores requieren la realización de un trabajo individual entre los temas que se propondrán a lo largo del curso.</p>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Campos y Cuerdas</b>			<b>Código</b>	606796
<b>Materia:</b>	Interacciones Fundamentales	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Fernando Ruiz Ruiz			<b>Dpto:</b>	FT-I
	<b>Despacho:</b>	11	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:ferruiz@fis.ucm.es">ferruiz@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	L	13:00-14:30	Rafael Hernández		22	FT-I
	X	10:00-11:30	Fernando Ruiz		23	

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Rafael Hernández Redondo	M y J: 12:00-14:00	<a href="mailto:rafahern@ucm.es">rafahern@ucm.es</a>	Despacho 22 (planta 3 oeste)
Fernando Ruiz Ruiz	L, X, V: 13:00-15:00	<a href="mailto:ferruiz@fis.ucm.es">ferruiz@fis.ucm.es</a>	Despacho 11 (planta 3 oeste)

### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Entender la invariancia gauge y sus implicaciones sobre grados de libertad físicos y cuantización.
- Comprender la formulación de una cuerda en un espacio-tiempo como una teoría de campos en dos dimensiones y sus simetrías. Comprender las herramientas básicas para su cuantización.

### Resumen

Parte I: La formulación mediante la integral de camino de teorías gauge cuánticas. El método BRS como mecanismo para controlar la invariancia gauge.

Parte II: La cuerda clásica, sus simetrías y grados de libertad físicos. Cuerdas en espacios-tiempo no planos. Cuantización en espacios-tiempo de Minkowski.

### Conocimientos previos necesarios

Los propios de la especialidad de Física fundamental (en algunas universidades llamada de Física Teórica) de la Licenciatura en Física o del Grado en Física. De manera específica, se necesitan conocimientos de Mecánica cuántica, Campos cuánticos, Partículas elementales y una base matemática en Cálculo, Álgebra y Geometría diferencial.

### Programa de la asignatura

#### **I. Cuantización de campos gauge.**

##### **Tema 1. Aspectos clásicos de los campos gauge.**

El campo gauge, el tensor de fuerza y su interpretación geométrica como conexión y curvatura. Ecuaciones de movimiento. Breve discusión de sus soluciones.

##### **Tema 2. La integral de camino para una teoría gauge.**

El determinante de Faddeev-Popov y los campos fantasma. Reglas de Feynman.

##### **Tema 3. Invariancia BRS y acción efectiva.**

El operador BRS y su cohomología. La acción efectiva como generador de funciones de Green irreducibles y sus identidades. Renormalización y estructura de los contra-términos. Anomalías. Cálculo de la función beta a un loop.

#### **II. Introducción a las cuerdas.**

**Tema 4. Cuerda clásica en espacio-tiempo de Minkowski.**

Acciones de Nambu-Goto y Polyakov. Invariancia bajo reparametrizaciones e invariancia Weyl. Ecuaciones de movimiento y condiciones de contorno (distinción entre cuerda abierta y cerrada). Ligaduras de Virasoro. Desarrollos en modos de Fourier.

**Tema 5. Cuerda clásica en un espacio-tiempo con curvatura.**

Acción de Polyakov para una cuerda en un espacio-tiempo con métrica no plana, 2-forma de Kalb-Rammond y dilatón. Ecuaciones de movimiento y condiciones de contorno. D-branas.

**Tema 6. Cuantización de la cuerda en espacio-tiempo de Minkowski.**

Cuantización canónica e identificación de los grados de libertad físicos en el gauge del cono de luz. Invariancia Lorentz y  $D=26$ . Comparación con métodos de cuantización covariantes sin fantasma (old covariant approach). Anomalía de Virasoro.

**Tema 7. Introducción a los modelos de Wess-Zumino-Witten.**

Acción clásica y ecuaciones de campo. Corrientes quirales. Ejemplos.

**Bibliografía**

- C. Itzykson, J.-B. Zuber, Quantum Field Theory, Dover Publications Inc. (Mineola, NY 2006).
- M. E. Peskin, D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Westview Press (Boulder, Co 1995).
- M. B. Green, J. H. Schwarz, E. Witten, String theory, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 1987).
- J. Polchinski, String theory, vol 1, Cambridge University Press (Cambridge 2000).

**Recursos en internet**

Campus virtual.

**Metodología**

Se impartirán clases, en la pizarra, en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión individual y en grupo con los alumnos de todos los conceptos y técnicas.

**Evaluación**

**Realización de exámenes**

**Peso:**

50%

Un examen final consistente en problemas o/y cuestiones que el alumno se lleva a casa.		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	50%
Entrega de problemas propuestos.		
<b>Calificación final</b>		
La media aritmética entre la nota obtenida en el examen y la obtenida en las otras actividades.		



## MASTER EN FISICA TEORICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Física Experimental de Partículas y Cosmología</b>			<b>Código</b>	606798
<b>Materia:</b>	Interacciones Fundamentales	<b>Módulo:</b>	Temas de Física Teórica		
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	5	1	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	14	3

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Begoña de la Cruz Martínez	<b>Dpto:</b>	CIEMAT
	<b>Despacho:</b>	<b>e-mail</b>	Begona.delacruz@ciemmat.es

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	L	11:30-13:00	Pablo García Abia	Febrero-Marzo	7	CIEMAT
			Inés Gil	Abril	7	
	J	13:00-14:30	Marycruz Fouz	Mayo	7	
			Juan Pablo Fernández	Mayo-Junio	7	

Prácticas - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	Aula CIEMAT	Práctica con Datos	Jose Ma. Hernández	7	CIEMAT
		Práctica con Datos	Ignacio Sevilla	7	

Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	CIEMAT	Detector muones	Jesús Puerta Pelayo	3	CIEMAT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Todos	A convenir	aeciemaster@gmail.com	CIEMAT

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprender los resultados experimentales básicos en los que se basa el modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico, a través de los datos de diversos experimentos punteros (LHC, DES, Double Chooz) y explicados por investigadores plenamente involucrados en ellos.</li> <li>• Comprender las técnicas experimentales (detección, análisis de datos, interpretación de resultados) en Física de Partículas y Cosmología.</li> <li>• Conocer los principales problemas abiertos en Física de Partículas y Cosmología y cómo se abordan en los experimentos actuales.</li> </ul> <p>Adquirir una metodología de trabajo necesaria para dedicarse a la investigación (realizar una tesis doctoral) en el ámbito mencionado.</p>

Resumen
<p>Fuentes de partículas (Aceleradores, fuentes de neutrinos, Cosmos), Detectores de Partículas. Técnicas de detección experimental en Física de Partículas y Cosmología, Técnicas de Análisis de Datos, Análisis Estadístico Datos, Interpretación de Resultados Físicos Experimentales. Paradigmas de Computación científica. SuperComputacion y Computacion de altas prestaciones.</p> <p>Modelo Estándar de Partículas e Interacciones: Bosones electrodébiles (W,Z,fotón), Estudios de quarks (c,b,top), Estudio del bosón de Higgs,</p> <p>Búsquedas de Nueva Física: nuevas resonancias, SUSY, Dimensiones Extra, partículas de vida media anormalmente altas, gravitón, otras componentes exóticas</p> <p>Estudios de Neutrinos: oscilaciones, masas. Neutrinos estériles.</p> <p>Cosmología: Energía Oscura.</p>

Conocimientos previos necesarios
Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

## Programa de la asignatura

### 1. Introducción a la Física Experimental de Partículas.

- Breve descripción Modelo Estándar e Interacciones. Problemas del ME (p. ej. oscilaciones de neutrinos).
- Como abordar estos problemas. Motivación de Experimentos a grandes rasgos (objetivos, requisitos, precisiones, resoluciones, diseño, datos....) Objetivos de los experimentos actuales como LHC (CMS), experimentos de Neutrinos, de Cosmología.

### 2. Técnicas Experimentales

- Breve repaso técnicas experimentales de detección partículas / observacionales.
- Fuentes de partículas: aceleradores, cosmos, fuentes de neutrinos.
- Técnicas instrumentales: Adquisición de datos (instrumentación electrónica), tratamiento de éstos (calibración, alineamiento).
- Paradigmas de Computación científica aplicado a Física de Partículas. Cantidades físicas medidas (posición, tiempo, energía, carga) y reconstrucción de magnitudes más elaboradas (momento, masas invariantes, etc).
- Funcionamiento y obtención datos y medidas de Tracker (TPC), detectores de Si, Calorímetros,
- Cámaras Deriva, RPCs, Detector Cerenkov, RICH,...
- Ejemplos transferencia de tecnología (aplicaciones física partículas a sociedad): PETs, aceleradores, Webs, GPS, materiales, lasers, superconductividad, vacío, criogenia...

### 3. Tratamiento Estadístico de Datos

- Análisis Estadístico de Datos. Simulación procesos físicos. Técnicas MC.

### 4. Experimentos de Física de Partículas y Cosmología

Estudios de Física en varios aspectos del ME, usando las técnicas aprendidas hasta el momento.

- Descripción de fenomenología en colisiones pp a  $\sqrt{s} = 7, 8$  TeV
- Producción de bosones vectoriales de Interacción Débil (W, Z). Principales características y resultados.
- Estudios de producción de quarks, en general, jets y más en concreto producción de hadrones con quarks c y b y del quark top. Principales características y resultados.
- Estudio del Bosón de Higgs.
- Búsquedas de Nueva física: SUSY, Dimensiones Extra, nuevas resonancias, otros "exotismos"
- Física de neutrinos: situación actual, cuestiones sin resolver, resultados experimentales.
- Cosmología y estudio de Energía Oscura: situación actual, cuestiones sin resolver, resultados experimentales.

**Prácticas:** Fechas a determinar más adelante

- Sesión análisis de datos reales de experimento CMS, de colisiones pp a  $\sqrt{s} = 8$  TeV, estudio de bosones Z, W, Higgs.
- Detección de muones cósmicos con detectores mediante cámara de deriva/niebla.

Cada práctica lleva asociada la entrega de un informe por parte del alumno.

## Bibliografía

### Básica:

- “Física Nuclear y de Partículas”  
Antonio Ferrer Soria  
Ed. UNIVERSITAT DE VALENCIA. SERVEI DE PUBLICACIONS 2007  
ISBN **9788437065687**
- “Quarks & Leptons: An introductory course in Modern Particle Physics”  
F. Halzen, A. D: Martin  
Ed. Wiley  
ISBN-10: 0471887412, ISBN-13: 9780471887416
- “Particle Detectors”  
C. Grupen  
Ed. Cambridge University Press  
ISBN: 0521552168
- “Neutrino Physics”,  
K. Zuber  
Series in High Energy Physics, Cosmology and Gravitation, CRC Press, 2010
- “Extragalactic Astronomy and Cosmology”  
P.Schneider (2006)  
Ed. Springer
- “STATISTICAL METHODS in EXPERIMENTAL PHYSICS”  
W.T. Eadie. D. Drijard. F.E. JAMES. B. Sadoulet, M. ROSS  
Ed. North-Holland, Amsterdam, 1971.

### Complementaria

- “Perspectives on LHC Physics”  
Varios autores. Editores :G. Kane & A. Pierce  
Ed. World Scientific  
ISBN: 9812779752
- “The Higgs hunter’s guide”  
J.F. Gunion, H.E. Haber, G. Kane & S. Dawson  
Ed. Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts  
ISBN: 073820305X
- “Phenomenology with massive neutrinos”  
M. C. Gonzalez-Garcia & M. Maltoni  
arXiv:0704.1800
- “Statistical Data Analysis”  
G. Cowan  
Ed. Oxford Science Publications  
ISBN: 0198501552

- “Gauge Theories in Particle Physics”  
I.J.R. Aitchison & A.J.G. Hey  
Ed. Adam Hilger  
ISBN: 0852743289
- “The Physics of Particle Detectors”  
D. Green  
Ed. Cambridge University Press  
ISBN: 0521662265
- “Statistics: A guide to the use of statistical methods in the physical sciences”  
R.J. Barlow  
Ed. John Wiley & Sons  
ISBN: 0471922951
- “Introduction to Elementary Particles”  
D. Griffiths  
Ed. Wiley-VCH  
ISBN: 9783527406012
- “Modern Cosmology”  
S. Dodelson (2003)  
Ed. Elsevier
- “Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics”  
C. Giunti & C. W. Kim,  
Ed. Oxford University Press, 2007
- "Neutrino cosmology",  
J. Lesgourgues, G. Mangano, G. Miele & S. Pastor  
Ed. Cambridge University Press, 2013.
- “Introduction to High Energy Physics”  
D.H. Perkins  
Ed. Cambridge University Press

#### Recursos en internet

Transparencias / prácticas en página Web. Enlaces de interés para la asignatura.  
Páginas Web de los diversos experimentos/Laboratorios

#### Metodología

Sesiones teóricas con medios audiovisuales (proyección transparencias).

Sesiones prácticas (análisis de sucesos experimentales reales).

Sesiones prácticas de laboratorio en el CIEMAT (Avda. Complutense 40, a 10 min de Facultad CC. Físicas)

Presentaciones de trabajos/prácticas realizados por alumnos.

Evaluación		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	80%
Para aprobar la asignatura será necesario presentar (y serán evaluados) los informes de las prácticas y ejercicios/problemas (PR) realizados a lo largo del curso, así como la asistencia regular al mismo.		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	20%
De manera adicional, se realizará un trabajo de profundización en la materia impartida, bien en relación con los datos experimentales provistos durante el curso, bien en algún tema estudiado (TR). Los trabajos serán presentados en clase (OP).		
Calificación final		
La calificación final será $N_{Final} = 0.8 N(PR) + 0.2 N(TR+OP)$ , donde $N(PR)$ y $N(TR+OP)$ son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Física de Astropartículas</b>			<b>Código</b>	606797
<b>Materia:</b>	Interacciones fundamentales	<b>Módulo:</b>	Temas de Física Teórica		
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4.5	1.5	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	11	6

<b>Profesor/a</b>	Juan Abel Barrio Uña			<b>Dpto:</b>	FAMN
<b>Coordinador/a:</b>	<b>Despacho:</b>	221, 3ª planta	<b>e-mail</b>	barrio@gae.ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
5B 13	X V	12:00 – 13:30 11:30 – 13:00	Jose Miguel Más Hesse	Febrero 2016	6	Externo
			Fernando Arqueros Martínez	Marzo 2016	9	FAMN
			Marcos López Moya	Abril 2016	4	FAMN
			Juan Abel Barrio Uña	Abril – Mayo 2016	9	FAMN

Prácticas/Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1	Laboratorio Física Atómica	4 sesiones (2ª quincena de marzo)	Jaime Rosado Velez Juan Abel Barrio Uña	6	FAMN
	Laboratorio de Física Computacional	4 sesiones (4ª semana de abril y 1ª semana de mayo)	Marcos López Moya	5	FAMN
	Villafranca del Castillo	1 sesión (4ª semana de febrero)	Jose Miguel Más Hesse	6	Externo

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Fernando Arqueros Martínez	M, J: 16:30-18:00	arqueros@gae.ucm.es	Dpcho 223 3ª planta
Juan Abel Barrio Uña	L, X: 11:30-13:00	barrio@gae.ucm.es	Dpcho 221 3ª planta
Marcos López Moya	X: 10:00-13:00	marcos@gae.ucm.es	Dpcho 219 3ª planta
Jaime Rosado Vélez	L, X: 11:30-13:00	Jaime_ros@fis.ucm.es	Dpcho 241 3ª planta
Jose Miguel Más Hesse		mm@cab.inta-csic.es	

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprender la fenomenología del modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico.</li> <li>▪ Entender los principales aceleradores cósmicos y la propagación de partículas en el Universo.</li> <li>▪ Comprender las técnicas de detección en Física de (Astro)Partículas.</li> <li>▪ Utilizar las técnicas de análisis, representación e interpretación de datos en Física de (Astro)Partículas.</li> <li>▪ Conocer los principales problemas abiertos en Física de (Astro)Partículas y los experimentos que existen para abordarlos.</li> <li>▪ Conocer el estado del arte en observaciones de interés cosmológico y las técnicas asociadas de tratamiento de datos</li> </ul>

### Resumen

Introducción a la Física de Astropartículas. Métodos de detección de rayos X, rayos gamma y partículas cósmicas de alta energía. Fuentes. Mecanismos de emisión y aceleración. Propagación. Perspectivas del campo.

### Conocimientos previos necesarios

Los correspondientes a las asignaturas troncales hasta el tercer curso, así como a las asignaturas obligatorias de tercer y cuarto curso del grado en Física en la especialidad de Física Fundamental.

### Programa de la asignatura

#### TEORÍA

- Astrofísica de rayos X

Interacción de rayos X con la materia. Telescopios de rayos X. Astronomía estelar y galáctica de rayos X. Astronomía extragaláctica de Rayos X (Galaxias con Formación Estelar, Nucleos Activos de Galaxias, Cúmulos de Galaxias, GRBs)

- Astrofísica de Rayos Gamma

Interacción de rayos gamma con la materia. Detectores de rayos gamma en tierra y en satélites. Fuentes y mecanismos de producción de rayos gamma.

- Física de Rayos Cósmicos

Interacción de partículas cargadas con la materia. Detectores de rayos cósmicos en tierra y satélites. Mecanismos de producción y propagación de rayos cósmicos.

- Otras partículas de alta energía

Producción y detección de neutrinos de alta energía. Búsqueda de Materia Oscura con detectores de radiación de alta energía.

#### PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Medida del flujo de muones cósmicos con centelleadores plásticos empleando el método de coincidencias. Medida de la vida media del muón a partir de la detección de muones cósmicos. Espectroscopía de rayos gamma con detectores de germanio y centelleadores

#### PRÁCTICAS DE ORDENADOR

Utilización de software científico para el análisis de los datos tomados por detectores de rayos X y rayos gamma.

#### VISITA A ESAC

Visita a las instalaciones de la European Space Astronomy Centre (ESAC), que la ESA opera en Villafranca del Castillo, para conocer las actividades de investigación en los telescopios de rayos X y rayos gamma operados por la ESA.

<b>Bibliografía</b>		
<p>Básica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Katz, J.I., <i>High Energy Astrophysics</i>, Addison-Wesley, 1987</li> <li>• M.S. Longair. <i>High Energy Astrophysics Vol 1 y 2</i>. Cambridge Univ. Press 1994.</li> </ul> <p>Complementaria</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• F. Aharonian. <i>Very High Energy Cosmic Gamma Radiation</i>. World Scientific 2004</li> <li>• C. Grupen, G. Cowan, et al: <i>Astroparticle Physics</i>. Springer 2005</li> <li>• D. Perkins, <i>Particle Astrophysics</i>, Oxford University Press, 2009</li> <li>• T. Stanev, <i>High energy cosmic rays</i>, Springer, 2010.</li> </ul>		
<b>Recursos en internet</b>		
<p>Campus virtual con enlaces de interés para la asignatura.</p>		
<b>Metodología</b>		
<p>Una parte fundamental de la asignatura vendrá en la forma de clases teóricas, con material de apoyo para los alumnos en el CV. Las clases se darán de manera habitual con el apoyo de medios audiovisuales modernos. Los conocimientos teóricos se complementan con la resolución de problemas.</p> <p>Las prácticas de laboratorio tendrán lugar en el Laboratorio de Física Atómica y Molecular, y las prácticas de ordenador se realizarán en el aula de Informática de la Facultad. En ambos tipos de prácticas, el alumno tendrá que entregar un informe con los resultados.</p> <p>Por último, se realizará una visita a las instalaciones de la ESA en Villafranca del Castillo para conocer de cerca la actividad investigadora en Astrofísica de Rayos X y Rayos Gamma.</p>		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	30%
<p>El examen (Ex) tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y otra parte de problemas (de nivel similar a los resueltos en clase). Para ambas partes el alumno podrá contar con libros de teoría de libre elección así como el material a su disposición en el CV.</p>		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	70%
<p>Otras actividades de evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentación, oral y por escrito, de trabajos (Tr)</li> <li>• Realización de prácticas de laboratorio y ordenador (Pr)</li> <li>• Evaluación continua mediante participación en clases, resolución de ejercicios y tests propuestos en clase, etc. (Ec)</li> </ul>		
<b>Calificación final</b>		
<p>La calificación final será <math>Cf = Ex*0.3 + Tr*0.3 + Pr*0.3 + Ec*0.1</math></p>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Complementos de Análisis Matemático en Física</b>			<b>Código</b>	606799
<b>Materia:</b>	Métodos Matemáticos y Estadísticos	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Miguel Angel Rodríguez González			<b>Dpto:</b>	Física Teórica-II
	<b>Despacho:</b>	Ala oeste 2ª planta nº 27	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:rodrigue@ucm.es">rodrigue@ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
5A	Miércoles	10:00-11:30	Miguel Ángel		3 horas/ semana	Física Teórica II
	Jueves	11:30-13:00	Rodríguez González			

Prácticas/Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado						
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.	
A1						

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar
Miguel Angel Rodríguez González	L: 14:30-17:00 M: 10:30-12:00 X: 16:30-17:30 J: 10:30-11:30	<a href="mailto:rodrigue@ucm.es">rodrigue@ucm.es</a>	Ala oeste, 2ª planta, nº 27

#### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Adquirir las nociones básicas del Análisis Funcional y profundizar en el estudio de la variable compleja, aprendiendo diversos métodos avanzados para la resolución de ecuaciones diferenciales y el cálculo de desarrollos asintóticos.

#### Resumen

Espacios funcionales. Espacios de Hilbert, bases ortonormales, operadores lineales, series y transformadas de Fourier, teoría de distribuciones, transformada de Fourier de distribuciones. Funciones de Green. Métodos asintóticos en ecuaciones diferenciales.

#### Conocimientos previos necesarios

Álgebra lineal y cálculo en varias variables. Nociones básicas de ecuaciones diferenciales y variable compleja.

#### Programa de la asignatura

- Integral de Lebesgue. Espacios funcionales.
- Espacios de Hilbert. Geometría en espacios de Hilbert.
- Bases ortonormales. Series y transformadas de Fourier.
- Operadores lineales en espacios de Hilbert. Teoría espectral.
- Espacios de distribuciones. Operaciones con distribuciones
- Transformada de Fourier de distribuciones
- Soluciones fundamentales de operadores diferenciales. Funciones de Green.
- Métodos asintóticos en ecuaciones diferenciales

<b>Bibliografía</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N. Boccara. <i>Functional Analysis: An Introduction for Physicists</i>. Academic Press, New York, 1990.</li> <li>• M. Reed and B. Simon, <i>Methods of Modern Mathematical Physics, vols. I, II</i>. Academic Press, New York, 1980.</li> <li>• L. Abellanas y A. Galindo, <i>Espacios de Hilbert</i>, Eudema, 1987.</li> <li>• V.S. Vladimirov, <i>Methods of the Theory of Generalized Functions (Analytical Methods and Special Functions)</i>, CRC Press, 2002.</li> <li>• I. Stakgold, <i>Green's Functions and Boundary Value Problems</i>, Wiley, 2011.</li> <li>• C.M. Bender, S.A. Orszag, <i>Advanced Mathematical methods for scientists and engineers</i>. Springer 1999.</li> </ul>		
<b>Recursos en internet</b>		
Campus virtual		
<b>Metodología</b>		
<p>Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases de teoría</li> <li>• Resolución en clase de problemas propuestos durante el curso</li> <li>• Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos</li> </ul> <p>Las lecciones de teoría y la resolución de problemas tendrán lugar fundamentalmente en la pizarra, aunque podrán ser complementadas ocasionalmente con proyecciones con ordenador. El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas, ampliar conceptos, etc.</p>		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
<p>Dependiendo del número de alumnos, algunas de las actividades siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles en horario de clase (Calificación: Cc)</li> <li>• Elaboración y presentación de un trabajo sobre temas relacionados con el programa desarrollado (Calificación=Tr)</li> <li>• Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr)</li> </ul>		
<b>Calificación final</b>		
<p>La calificación final será un promedio (con pesos a determinar) de las actividades realizadas. Cf = a Cc + b Pr + c Tr, a+b+c=1</p>		



**MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA**  
(curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física</b>			<b>Código</b>	606800
<b>Materia:</b>	Métodos Matemáticos y Estadísticos	<b>Módulo:</b>	Asignaturas		
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Luis Manuel González Romero			<b>Dpto:</b>	Física Teórica II
	<b>Despacho:</b>	6-FTII	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mgromero@fis.ucm.es">mgromero@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	L - J	10:00-11:30	Luis Manuel González Romero	Todo el semestre	3 horas/ semana	Física Teórica II

Prácticas/Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado					
Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
A1					

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Luis Manuel González Romero	L,X:14:30-16:30 J:11:30-13:30	mgromero@fis.ucm.es	Despacho 6, FT II

### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Aprender a utilizar diversos métodos avanzados de la geometría diferencial, la teoría de grupos de Lie y la teoría de representaciones, de interés para el estudio de la simetría en problemas físicos.

### Resumen

Variedades diferenciables, conexiones, grupos y álgebras de Lie. Aplicaciones a la Física.

### Conocimientos previos necesarios

Se suponen conocimientos de ecuaciones diferenciales. Conocimientos recomendados: electrodinámica, teoría de campos, relatividad general y gravitación

### Programa de la asignatura

- Variedades diferenciables. Tensores. Cálculo exterior. Integración
- Grupos de transformaciones
- Conexiones
- Variedades (pseudo-)riemannianas
- Grupos y Álgebras de Lie
- Aplicaciones a la Física.

### Bibliografía

- Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, M. Dillard-Bleick, *Analysis, manifolds and physics*, North Holland, 1991.
- R. L. Bishop, S. I. Goldberg, *Tensor Analysis on Manifolds*, Dover, New York, 1980..
- A. Mishchenko, A. Fomenko, *A Course of Differential Geometry and Topology*, Mir, Moscow, 1988.
- R. Abraham, J. E. Marsden, T. Ratiu, *Manifolds, Tensor Analysis, and Applications (second edition)*, Springer-Verlag, New York, 1988.
- D. Lovelock, H. Rund, *Tensors, Differential Forms and Variational Principles*, Dover, New York, 1989.

- S. Helgason, *Differential Geometry, Lie Groups and Symmetric Spaces*, AMS, Providence, 2001.
- S. Sternberg, *Lectures on Differential Geometry*, AMS Chelsea Publishing, 1999..
- S. Sternberg, *Lie algebras*, 2004.  
[http://www.math.harvard.edu/~shlomo/docs/lie\\_algebras.pdf](http://www.math.harvard.edu/~shlomo/docs/lie_algebras.pdf)
- D. H. Sattinger, O. L. Weaver, *Lie Groups and Algebras with Applications to Physics, Geometry, and Mechanics (third edition)*, University of Bangalore Press, New Delhi, 1997.
- K. Nomizu, *Lie Groups and Differential Geometry*, Mathematical Society of Japan, Tokyo, 1956.

### Recursos en internet

Campus virtual

### Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

- Clases de teoría
- Resolución en clase de problemas propuestos durante el curso
- Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos

Las lecciones de teoría y la resolución de problemas tendrán lugar fundamentalmente en la pizarra, aunque podrán ser complementadas ocasionalmente con proyecciones con ordenador.

El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas, ampliar conceptos, etc.

### Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%

Elaboración y presentación de un trabajo sobre temas relacionados con el programa desarrollado (Calificación=Tr).

Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr)

### Calificación final

La calificación final será  $Cf = 0.7 Tr + 0.3 Pr$ .



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Modelos Integrables en Física</b>			<b>Código</b>	606801
<b>Materia:</b>	Métodos Matemáticos y Estadísticos	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Piergiulio Tempesta T/P			<b>Dpto:</b>	FT-II
	<b>Despacho:</b>	30, 2ª O	<b>e-mail</b>	ptempest@ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	L X	15:00 - 16:30 15:00 - 16:30	PiergiulioTempesta	Todo el cuatrimestre	3 por semana	FT-II

<b>Tutorías - Detalle de horarios y profesorado</b>			
<b>Profesor</b>	<b>horarios</b>	<b>e-mail</b>	<b>Lugar</b>
Piergiulio Tempesta	L: 11-13 , 14-15 X: 10-13	ptempest@ucm.es	Despacho 30, 2ª O

### **Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)**

Aprender las técnicas básicas para construir y analizar los modelos integrables y solubles más importantes en Física, y estudiar sus aplicaciones en otros campos.

### **Resumen**

Sistemas dinámicos y teoría del caos, elementos de teoría ergódica, sistemas integrables hamiltonianos, ecuaciones de evolución no lineales.

### **Conocimientos previos necesarios**

Ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales, geometría diferencial avanzada, teoría de grupos.

### **Programa de la asignatura**

1. Introducción a la teoría de los sistemas dinámicos. Sistemas dinámicos discretos. Espacios topológicos.
2. Dinámica simbólica, teorema de Sarkovskii. Estabilidad hiperbólica. Difeomorfismos de Morse-Smale. Entropías y sistemas dinámicos. Elementos de teoría del caos y de teoría ergódica.
3. Integrabilidad en mecánica clásica. Geometría de los sistemas integrables y sus propiedades algebraicas. Estructuras hamiltonianas y bi-hamiltonianas. Superintegrabilidad. Ecuaciones integrables y jerarquías integrables.
4. Métodos avanzados para el estudio de ecuaciones de evolución. Simetrías de Lie.

### **Bibliografía**

W. De Melo, S. van Strien, *One-dimensional dynamics*, Springer-Verlag, 1993.  
 A. Katok, B. Hasselblatt: *Introduction to the Modern Theory of Dynamical Systems*, Cambridge University Press, 1997.  
 R. L. Devaney, *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*, The Benjamin/ Cummings Publishing Co., 1992.  
 P. Glendinning, *Stability, Instability and Chaos*, Cambridge University Press, 1994.  
 C. Beck e F. Schlogl, *Thermodynamics of chaotic systems. An introduction*, Cambridge University Press, 1993.  
 A. Fasano and S. Marmi, *Analytical Mechanics*, Oxford University Press, 2006.  
 P. Libermann and C.-M. Marle, *Symplectic Geometry and Analytical Mechanics*, Kluwer, 1987.  
 S. P. Novikov: *Solitons and Geometry*, Published for the Accademia nazionale dei Lincei and the Scuola Normale Superiore - Pisa by the Press Syndicate of the University of Cambridge, 1994.  
 M. Nakahara, *Geometry, Topology and Physics*, Bristol, Adam Hilger, 1990.  
 P. Olver, *Applications of Lie Groups to Differential Equations*, Springer, 1992.

Artículos de investigación.

#### Recursos en internet

Campus virtual

#### Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

Clases de teoría

Exposición de trabajos y/o problemas resueltos por los alumnos

Las lecciones de teoría y la resolución de problemas se realizarán fundamentalmente en la pizarra, aunque podrán ser complementadas ocasionalmente con proyecciones con ordenador.

El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con objeto de resolver dudas, ampliar conceptos, etc.

#### Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%
Presentación, por escrito u oral, de trabajos concertados con el profesor. (Tr)		
Calificación final		
Se calificarán los trabajos concertados y las presentaciones orales. Cf = Tr		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Sistemas Complejos</b>			<b>Código</b>	606803
<b>Materia:</b>	Métodos Matemáticos y Estadísticos	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Juan MR Parrondo			<b>Dpto:</b>	FAMN
	<b>Despacho:</b>	216-FAMN	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:parrondo@fis.ucm.es">parrondo@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	M, J	11:30 - 13:00	Chantal Valeriani	Febrero a mayo 2016	11,25	FAI
			Juan MR Parrondo		11,25	FAMN
			Piergiulio Tempesta		11,25	FTII
			Inmaculada Leyva		11,25	Externa

<b>Tutorías - Detalle de horarios y profesorado</b>			
<b>Profesor</b>	<b>horarios</b>	<b>e-mail</b>	<b>Lugar</b>
Chantal Valeriani	M: 13:00-14:30	<a href="mailto:cvaleriani@ucm.es">cvaleriani@ucm.es</a>	Despacho 119. Planta 1ª Este
Juan MR Parrondo	M, J: 16:00-17:30	<a href="mailto:parr@seneca.ucm.es">parr@seneca.ucm.es</a>	Despacho 216. Planta 3ª Centro
Piergiulio Tempesta	L: 11:00-13:00 M: 10:30 a 11:30	<a href="mailto:p.tempesta@fis.ucm.es">p.tempesta@fis.ucm.es</a>	Despacho 30. Planta 2ª Oeste
Inmaculada Leyva	Concertar con el profesor	<a href="mailto:Inmaculada.leyva@urjc.es">Inmaculada.leyva@urjc.es</a>	

#### **Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)**

- Conocer las propiedades y el comportamiento de sistemas complejos y ser capaz de plantear modelos teóricos que describan su dinámica en un ámbito interdisciplinar.

#### **Resumen**

Dinámica no lineal y sistemas caóticos, Sincronización, Formación de patrones, Modelización estocástica, Modelos basados en agentes, Estructura y Dinámica en Redes Complejas.

#### **Conocimientos previos necesarios**

Física estadística, Mecánica clásica, Probabilidad, Ecuaciones diferenciales  
Recomendable conocimientos de programación para cálculo científico.

## Programa de la asignatura

### 1. TRANSICIONES DE FASE Y MATERIA ACTIVA (Chantal Valeriani)

Mecánica estadística, transiciones de fase y exponentes críticos. El modelo de Ising. Teorías de campo medio y teoría de Ginzburg-Landau. Simulaciones Monte-Carlo. Grupo de renormalización. Materia activa: el modelo de Vicsek. Física estadística de partículas auto-propulsadas.

### 2. MODELIZACIÓN ESTOCÁSTICA (Juan MR Parrondo)

Eventos aleatorios. Cadenas de Markov. Ecuación maestra. Ecuaciones diferenciales estocásticas: interpretación de Ito y de Stratonovich. Aplicaciones y fenómenos inducidos por ruido: motores Brownianos, resonancia estocástica, la ecuación de Balck-Scholes.

### 3. ENTROPÍAS Y TEORÍA GEOMÉTRICA DE LA INFORMACIÓN (Pergiu Tempesta)

Entropías generalizadas, clásicas y cuánticas. Entropía de Rényi y criticalidad. Teoría geométrica de la información, variedades estadísticas, divergencias (Kullback-Leibler, Rényi).

### 4. REDES COMPLEJAS (Inmaculada Leyva)

Fundamentos: definiciones, métricas, modularidad, estructura a gran escala.  
Modelos de redes: grafos aleatorios, *configuration model*, modelos de crecimiento.  
Procesos dinámicos en redes: Percolación, robustez, propagación, sincronización.  
Aplicaciones: redes sociales, redes tecnológicas, redes biológicas, redes de información.

## Bibliografía

- J.M. Yeomans, Statistical Mechaics of PHase Transitions, Oxford University Press, 1992.
- J.D. Murray, Mathematical biology, Springer, 2002.
- C. W. Gardiner, Handbook of Stochastic Methods, Springer, 2004.
- C. W. Gardiner, Handbook of Stochastic Methods, Springer, 2004.
- A. Katok y B. Hasselblatt, Introduction to the Modern Theory of Dynamical Systems, Cambridge University Press, 1997.
- S. Amari y H. Nagaoka, Methods of Information Geometry, Oxford University Press, New York (2000).
- S.H. Strogatz, Nonlinear dynamics and chaos, Addison-Wesley, 1994.
- M. E. J. Newman, Networks: An Introduction, Oxford University Press, 2010.
- K. Kaneko, Complex Systems: Chaos and Beyond, A Constructive Approach with Applications in Life Sciences , Springer, 2000.
- A. Pikovsky, M. Rosenblum y J. Kurths, Synchronization, a universal concept in nonlinear sciences, Cambridge University Press, 2001.
- H.J. Jensen, Self-organized criticality, Cambridge Lectures in Physics, 1998.

Recursos en Internet
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Página web de la asignatura: <a href="http://debussy.fis.ucm.es/david/sscc">http://debussy.fis.ucm.es/david/sscc</a></li> <li>2. Grupo de Sistemas complejos URJC: <a href="http://www.complexity.es/">http://www.complexity.es/</a></li> <li>3. Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC): <a href="http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/">http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/</a></li> </ol>

Metodología
<p>El contenido teórico transmitido a través de clases magistrales en la pizarra y la lectura de textos especializados escogidos cubrirá los temas más fundamentales necesarios para una introducción a la teoría de sistemas complejos.</p> <p>Cada profesor además expondrá una serie de modelos específicos más directamente relacionados con su investigación, y los estudiantes habrán de realizar un trabajo sobre alguno de los modelos propuestos.</p> <p>Además de la asimilación de los contenidos teóricos, es fundamental para este curso que el estudiante adquiera competencias de programación necesarias para la simulación en el ordenador de los modelos estudiados. Parte de la docencia de la asignatura estará destinada a perfeccionar estas competencias.</p>

Evaluación		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno (Pr).		
Calificación final		
La calificación final será $Cf = Pr$ .		





## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Relatividad General</b>			<b>Código</b>	606804
<b>Materia:</b>	Cosmología y relatividad general	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	6	2	0
<b>Horas presenciales</b>	45	28,5	16,5	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Luis Manuel González Romero			<b>Dpto:</b>	Física Teórica II
	<b>Despacho:</b>	6	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mgromero@fis.ucm.es">mgromero@fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
5A	X v	11:30-13:00 10:00-11:30	Luis Manuel González Romero	Todo el cuatrimestre	45	Física Teórica II

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Luis Manuel González Romero	L,X:14:30-16:30 J:11:30-13:30	<a href="mailto:mgromero@fis.ucm.es">mgromero@fis.ucm.es</a>	Despacho 6, FT-II

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquirir destrezas en las técnicas y conceptos geométricos para describir el espaciotiempo y la interacción gravitatoria.</li> <li>• Comprensión de fenómenos físicos característicos de la relatividad general como la emisión, propagación y recepción de ondas gravitatorias o los campos gravitatorios intensos de los agujeros negros.</li> </ul>

Resumen
Relatividad general como una teoría geométrica de la interacción gravitatoria. Aspectos formales y físicos.

Conocimientos previos necesarios
Electrodinámica, mecánica teórica, geometría diferencial, relatividad y cosmología, teoría cuántica de campos.

Programa de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometría del espaciotiempo</li> <li>• Campos y gravedad. Ecuaciones de Einstein. Estrellas relativistas</li> <li>• Estructura global del espaciotiempo y singularidades</li> <li>• Colapso gravitacional y agujeros negros. Radiación de Hawking</li> <li>• Formulacion hamiltoniana</li> <li>• Radiación gravitatoria</li> </ul>

### Bibliografía

- S.M. Carroll, Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity, Addison-Wesley, 2003; Lecture notes on general relativity, <http://es.arxiv.org/abs/gr-qc/971201>.
- R.M. Wald, General Relativity, University of Chicago Press, 1984.
- S.W. Hawking y G.F.R. Ellis, The large scale structure of space-time (Cambridge University Press, 1973).
- C.W. Misner, K.S. Thorne y J.A. Wheeler, Gravitation, Freeman, 1973.
- J. Stewart, Advanced general relativity, Cambridge University Press, 1993.
- H. Stephani, D. Kramer, M. MacCallum, C. Hoenselaers y E. Herlt, Exact solutions to Einstein's field equations (Second Edition), Cambridge University Press, 2003.
- A.P. Lightman, W.H. Press, R.H. Price y S.A. Teukolsky, Problem book in relativity and gravitation, Princeton University Press, 1975.
- B.F. Schutz, A first course in general relativity, Cambridge University Press, 1985.
- E. Poisson, An advanced course in general relativity, <http://www.physics.uoguelph.ca/poisson/research/agr.pdf>.
- N. Straumann, General relativity with Applications to astrophysics, Springer-Verlag, 2004.

### Recursos en internet

Campus virtual.

### Metodología

Se impartirán clases teóricas y prácticas en las que se explicarán y discutirán los diversos temas del programa. Los conceptos y técnicas introducidos en la explicación de los temas se ilustrarán con ejemplos y problemas que se resolverán en clase. Se estimulará la discusión, individual y en grupo, con los alumnos de todos los conceptos y técnicas introducidos en clase.

En las lecciones de teoría se usará la pizarra aunque podrán ser complementadas con proyecciones con ordenador.

Como actividades didácticas adicionales, se incluirá la entrega y corrección de ejercicios y, quizá, de trabajos.

Se suministrarán a los estudiantes enunciados de ejercicios con antelación a su resolución y discusión en la clase, que puede incluir la presentación de los mismos por parte de los estudiantes.

El profesor recibirá individualmente a los alumnos en el horario especificado de tutorías, con

objeto de resolver dudas o ampliar conceptos.		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
<p>Dependiendo del número de alumnos, algunas de las actividades siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles en horario de clase (Calificación: Cc)</li> <li>• Elaboración y presentación de un trabajo sobre temas relacionados con el programa desarrollado (Calificación=Tr)</li> <li>• Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr)</li> </ul>		
<b>Calificación final</b>		
<p>La calificación final será un promedio (con pesos a determinar) de las actividades realizadas. Cf = a Cc + b Pr + c Tr, a+b+c=1</p>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Física del Modelo Cosmológico Estándar</b>			<b>Código</b>	606805
<b>Materia:</b>	Cosmología y Relatividad General	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativa	<b>Curso:</b>	1	<b>Semestre:</b>	2

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	5,2	0,8	
<b>Horas presenciales</b>	45	42	3	0

<b>Profesor/a</b>	Antonio López Maroto			<b>Dpto:</b>	FT-I
<b>Coordinador/a:</b>	<b>Despacho:</b>	14	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:maroto@ucm.es">maroto@ucm.es</a>	

### Teoría - Detalle de horarios y profesorado

Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	X	16:30 – 18:00	Antonio López Maroto	De febrero a mayo	19,5	FT-I
13	V	13:00 – 14:30	Antonio López Maroto	De febrero a mayo	19,5	FT-I

### Prácticas - Detalle de horarios y profesorado

Grupo	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.
<b>A1</b>	Laboratorio de Física Computacional	16,31 de mayo	Antonio López Maroto	3	FT-I

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Antonio López Maroto	M: 15:00 a 17:00 J y V: 11:00 a 13:00	maroto@ucm.es	Despacho del profesor

#### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Adquirir un conocimiento detallado del Modelo Cosmológico Estándar tanto desde el punto de vista observacional como teórico.
- Conocer los problemas fundamentales abiertos en Cosmología y las soluciones propuestas: teoría inflacionaria, modelos de materia oscura y de energía oscura
- Adquirir un conocimiento sólido de la teoría de perturbaciones cosmológicas, de los mecanismos de formación de estructuras y de las anisotropías del fondo cósmico de microondas.

#### Resumen

- Modelo cosmológico estándar
- Inflación
- Teoría de perturbaciones cosmológicas
- Formación de estructuras
- Fondo cósmico de microondas

#### Conocimientos previos necesarios

Conocimientos previos de Cosmología, Relatividad General y Teoría Cuántica de Campos son muy recomendables para cursar la asignatura con aprovechamiento.

#### Programa de la asignatura

##### Teoría

##### 1.- Modelo cosmológico estándar

**1.1 Bases observacionales.** Distribución de materia a gran escala. Ley de Hubble. Edad del universo. Abundancia de elementos ligeros. Radiación de fondo. Materia oscura. Expansión acelerada y energía oscura

**1.2 Bases teóricas.** Ecuaciones de Einstein. Métrica de Robertson-Walker. Medida de

distancias. Modelos dominados por materia, radiación y constante cosmológica. Horizontes. Termodinámica y desacoplo de partículas. Recombinación y desacoplo materia-radiación. Reliquias cosmológicas: materia oscura fría y caliente. Abundancia de neutrinos y WIMPs.

**2.- Problemas del modelo cosmológico estándar.** Planitud, horizontes y origen de la estructura a gran escala.

**3.- Inflación cosmológica.** Conceptos básicos. Modelos con un solo campo (inflatón): Lagrangiano, ecuaciones del movimiento, aproximación de slow-roll, condiciones iniciales, inflación caótica, inflación eterna. Evolución de las escalas durante inflación.

#### **4.- Teoría de perturbaciones cosmológicas**

**4.1.- Teoría Newtoniana** para modos sub-Hubble: perturbaciones adiabáticas y de entropía. Ecuación de Mezsaros. Perturbaciones en fluidos multicomponente. Perturbaciones bariónicas.

**4.2.- Teoría relativista de las perturbaciones.** Clasificación (escalar, vector, tensor). Invariancia gauge. Potenciales de Bardeen. Elección de gauge. Evolución de las perturbaciones escalares en universos dominados por materia, radiación y campo escalar.

**4.3.- Evolución de las perturbaciones.** Plasma de bariones-radiación y materia oscura fría. Oscilaciones acústicas (BAO). Silk damping. Función de transferencia y función de crecimiento de las perturbaciones de materia oscura.

**5.- Generación de perturbaciones escalares durante inflación.** Cuantización canónica. Propiedades estadísticas de las perturbaciones gaussianas. Espectro de potencias. Índice espectral e invariancia de escala. Espectro de potencia de materia.

**6.- Generación de ondas gravitacionales durante inflación.** Cuantización. Espectro primordial. Condición de consistencia.

- **7.- Anisotropías en el fondo cósmico de microondas.** Efectos Sachs-Wolfe, Doppler y Sachs-Wolfe integrado. Multipolos y escalas. Espectro de potencias angular: plateau de Sachs-Wolfe, picos acústicos, damping tail. Comparación con los resultados de Planck y estimación de parámetros cosmológicos.

#### **Prácticas**

Se pretende que los alumnos adquieran un conocimiento más cercano a la investigación real en el campo a la vez que se muestra el enlace entre diversos datos experimentales y los modelos teóricos actuales sobre el origen y evolución del Universo

El laboratorio consistirá en el uso de herramientas de cálculo simbólico dentro de la teoría de perturbaciones cosmológicas

Fechas: 16-31 Mayo

Horario: (Horario de la asignatura)

Lugar: Laboratorio de Física Computacional.

<b>Bibliografía</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• E.W. Kolb and M.S. Turner, <i>The Early Universe</i>, Addison-Wesley, (1990)</li> <li>• S. Dodelson, <i>Modern Cosmology</i>, Academic Press (2003)</li> <li>• A.R. Liddle and D.H. Lyth, <i>Cosmological Inflation and Large-Scale Structure</i>, Cambridge (2000)</li> <li>• A.R. Liddle, <i>An Introduction to Modern Cosmology</i>, Wiley (2003)</li> <li>• T. Padmanabhan, <i>Theoretical Astrophysics, vols: I, II y III</i>, Cambridge (2000)</li> <li>• S. Weinberg, <i>Cosmology</i>, Oxford (2008)</li> <li>• R. Durrer, <i>The Cosmic Microwave Background</i>, Cambridge (2008)</li> </ul>		
<b>Recursos en internet</b>		
Campus virtual		
<b>Metodología</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases de teoría y problemas.</li> <li>• Se entregarán a los alumnos hojas con enunciados de problemas especialmente diseñadas para que el alumno vaya ejercitándose de manera gradual, y adquiriendo de forma secuencial las destrezas correspondientes a los contenidos y objetivos de la asignatura. Se contempla la realización de práctica con ordenador.</li> </ul>		
<b>Evaluación</b>		
<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	60%
El examen consistirá en la resolución de cuestiones teóricas y/o problemas (de nivel similar a los resueltos en clase) (Ex).		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	40%
Presentación de un trabajo. (Tr)		
Se valorará la realización de prácticas y ejercicios (Pr)		
<b>Calificación final</b>		
La calificación final será la más alta de las siguientes dos opciones:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>N_{Final} = 0.6N_{Ex} + 0.4N_{Otras}</math>, donde <math>N_{Ex}</math> y <math>N_{Otras}</math> son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores</li> <li>• Nota del examen final</li> </ul>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Información Cuántica y Computación Cuántica</b>			<b>Código</b>	606806
<b>Materia:</b>	Información Cuántica	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Obligatorio	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1ª

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	4	2	
<b>Horas presenciales</b>	45	28	17	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Miguel A. Martin-Delgado			<b>Dpto:</b>	FTI
	<b>Despacho:</b>	8 FTI	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mardel@miranda.fis.ucm.es">mardel@miranda.fis.ucm.es</a>	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
5A	M,V	11:30-13:00	Miguel A. Martin-Delgado	Febrero a mayo 2016	45	FTI

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Miguel A. Martin-Delgado	M: 14:00 a 20:00 J: 15:30 a 18:30	<a href="mailto:mardel@miranda.fis.ucm.es">mardel@miranda.fis.ucm.es</a>	Despacho: 8 FTI

**Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)**

- Introducir al alumno a las nociones y métodos básicos de la Información y Computación Cuánticas. Medidas de entanglement cuántico. Puertas lógicas.
- Teorema de No-Clonación Cuántica. Codificación Densa en Canales Cuánticos.
- Teleportación Cuántica y Criptografía Cuántica. Algoritmos Cuánticos de cómputo.
- Teorema del umbral de error cuántico. Destilación cuántica de entanglement.
- Introducir al alumno en la descripción de sistemas de óptica cuántica y física atómica con aplicaciones en la investigación de modelos de física de la materia condensada y en el estudio de estados y fenómenos no clásicos de luz.
- Introducción a la teoría de los sistemas de muchos cuerpos que aparecen en sistemas de física atómica: cristales artificiales y sistemas magnéticos efectivos.
- El alumno estará en disposición de entender los avances en el campo de la simulación cuántica, comenzar trabajos de investigación en este campo y entender su impacto y aplicaciones tecnológicas potenciales.

### Resumen

Teoremas de Shannon en información clásica. Información cuántica. Computación cuántica. Criptografía y comunicaciones. Soportes de la información. Estados entrelazados. No localidad y principio de indeterminación. Algoritmos clásicos y cuánticos: paralelismos y diferencias. Errores cuánticos y su corrección. Sistemas con protección topológica.

Motivación de la simulación cuántica: física de muchos cuerpos y complejidad, problemas abiertos en el diseño de nuevos materiales. Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación cuántica: eliminación adiabática, potenciales y fuerzas ópticas, enfriamiento láser, estados y fenómenos no clásicos de luz. Física de átomos ultrafríos e iones atrapados. Simulación cuántica analógica y digital: diferencias y ventajas de cada una.

### Conocimientos previos necesarios

Se recomiendan los contenidos adquiridos por el alumno que ha cursado las asignaturas de Física Cuántica I, II, Óptica, Electricidad y Magnetismo I,II y Mecánica Cuántica del grado de Físicas.

### Bibliografía

Bouwmeester, D, Ekert, A, and Zeilinger, A (Eds.) *The physics of quantum information* Springer-Verlag 2000.

Galindo, A and Martin-Delgado, M.A., *Information and Computation: Classical and Quantum Aspects*. Rev. Mod. Phys. 74 (2002) 347-423.

Nielsen, M.A. and Chuang, I.L., *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press 2000.

Physics World, volumen de la revista Marzo 1998.

Kitaev, A. Yu., Shen, A. H. and Vyalyi, M. N.,  
*Classical and Quantum Computation*,  
American Mathematical Society, vol 47, 2002

“Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating quantum many-body systems”  
M. Lewenstein, A. Sanpera and V. Ahufinger , Oxford University Press, 2012

"Quantum dynamics of single trapped ions"  
D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, and D. Wineland  
Rev. Mod. Phys. 75, 281 (2003) – Published March 10, 2003

“Atom-photon interactions: basic processes and applications “  
C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, y Gilbert Grynberg, Wiley-Interscience, 1992.

#### Recursos en Internet

Página web del curso:

<http://www.ucm.es/info/qiccucm/>

#### Metodología

- A) Clases de teoría y problemas impartidas en la pizarra. Discusión con ejemplos, de los aspectos mas relevantes y del fomento de la participación activa del alumno.
- B) Se entregará a los alumnos material bibliográfico complementario para actualizar contenidos de una asignatura en continuo desarrollo y fomentar su interés por la investigación.
- C) Clases complementarias con presentaciones informáticas para ilustrar desarrollos experimentales recientes.
- D) Se estimulará la discusión, el trabajo en grupo y la participación en tutorías.
- E) Se contempla la invitación de investigadores de reconocido prestigio en temas de la asignatura para para impartir seminarios específicos sobre temáticas de actualidad.

#### Evaluación

<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	30%
Examen final escrito (ver calificación final). El examen tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y/u otra parte de problemas de nivel similar a los resueltos en clase.		
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	70%
<p>Las actividades de evaluación continua constarán de, a lo sumo, dos tipos de pruebas:</p> <p>1/ Entrega de ejercicios teóricos o prácticos cuya dificultad estará graduada en tres tipos: B (Baja), M (Media) y A (Alta).</p> <p>2/ Entrega de un mini-trabajo de investigación sobre algún tema de la asignatura que haya adquirido relevancia durante el curso. Sirve de orientación para el trabajo de master.</p>		
<b>Calificación final</b>		
<p>Las pruebas de la evaluación continua supondrán en su conjunto, una calificación C cuyo valor estará comprendido entre 0 y 10 puntos. La corrección del examen final, cuando exista, dará lugar a una calificación E cuyo valor estará comprendido entre 0 y 3 puntos.</p> <p>La calificación final N estará comprendida entre 0 y 10 puntos, y se obtendrá como el mayor de los dos siguientes números C y F, con:</p> <p><math>F = 0.7 C + E</math></p> <p>es decir la calificación final es <math>N = \max\{ C, F \}</math></p>		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2015-16)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Simulación Cuántica</b>			<b>Código</b>	606807
<b>Materia:</b>	Información Cuántica	<b>Módulo:</b>			
<b>Carácter:</b>	Optativo	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	6	6	0	
<b>Horas presenciales</b>	45	45	0	0

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	Miguel A. Martín-Delgado			<b>Dpto:</b>	FT-I
	<b>Despacho:</b>	08-FTI	<b>e-mail</b>	mardel@miranda.fis.ucm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.
13	L	16:30 - 18:00	Miguel A. Martín-Delgado	Mayo	15	FTI
			Luis Lorenzo	Febrero	10	Óptica
	V	14:30-16:00	Juan José García Ripoll	Marzo	10	Externo
			Alejandro Bermúdez	Abril	10	Exter

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Miguel A. Martín-Delgado	X: 14:00 a 20:00	mardel@miranda.fis.ucm.es	08-FTI

Resumen
<p>La simulación cuántica persigue implementar en el laboratorio modelos sofisticados de Física Teórica que suponen problemas abiertos en Materia Condensada y Física de Altas Energías. En la asignatura se mostrará cómo se pueden simular estos modelos, bien sobre un ordenador cuántico universal (simulación digital) o bien mediante el control continuado de sistemas de óptica cuántica (simulación analógica). Para ello se proporcionarán al alumno todas las herramientas teóricas necesarias, tanto para la comprensión de los sistemas físicos involucrados (átomos, iones, circuitos superconductores) como para la descripción teórica del simulador (Hamiltonianos efectivos y teoría de perturbaciones, técnicas de resolución de problemas de muchos cuerpos, transiciones de fase, etc). La asignatura proporciona una visión complementaria a la asignatura de Información Cuántica, con un gran énfasis en la implementación física y los últimos desarrollos experimentales.</p>

Programa de la asignatura
<p><b>1 – Introducción: motivación de la simulación cuántica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El desafío de la teoría cuántica de muchos cuerpos.</li> <li>• Nuevas tecnologías de control del mundo microscópico. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de iones atrapados, redes ópticas de átomos.</li> <li>- Computación cuántica y simulación cuántica digital.</li> <li>- Simulación cuántica analógica: simuladores cuánticos e ingeniería cuántica de materiales.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>2 – Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación cuántica.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interacción luz-materia.</li> <li>• Eliminación adiabática de grados de libertad: Hamiltonianos efectivos.</li> <li>• Efectos mecánicos de la interacción luz-materia: potenciales y fuerzas ópticas, principios de atrapamiento de átomos.</li> <li>• Enfriamiento láser.</li> <li>• Preparación y medición de estados cuánticos por medios ópticos.</li> </ul> <p><b>3 – Átomos Ultrafríos en Redes Ópticas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases atómicos ultrafríos. Bosones (BEC) y fermiones.</li> <li>• Descripción en términos de tight-binding.</li> <li>• Modelo de Bose-Hubbard. Aproximación de Gutzwiller. Fases Cuánticas.</li> <li>• Control de las interacciones entre átomos.</li> </ul>

- Modelos cuánticos simulables.

#### 4 – Otros sistemas: iones atrapados y átomos de Rydberg

- Física de iones atrapados.
- Control de las interacciones entre spines. Relación con la computación cuántica.
- Física de átomos en estados de Rydberg.
- Interfaces entre átomos de Rydberg y luz.

#### 5 – El futuro de la simulación cuántica

- Estados cuánticos exóticos. Orden topológico. Modelo de Kitaev.
- Aplicaciones tecnológicas. diseño de materiales, información cuántica y metrología cuántica.

#### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

- Introducir al alumno en la descripción de sistemas de óptica cuántica y física atómica con aplicaciones en la investigación de modelos de física de la materia condensada y en el estudio de estados y fenómenos no clásicos de luz.
- Comprensión de los métodos de preparación y manipulación de estados cuánticos: ingeniería de Hamiltonianos, medidas de estados cuánticos y control de interacciones.
- Introducción a la teoría de los sistemas de muchos cuerpos que aparecen en sistemas de física atómica: cristales artificiales y sistemas magnéticos efectivos.
- Cuantificación de la complejidad de un sistema cuántico y aplicaciones en física de materiales y simulación cuántica con sistemas atómicos.
- El alumno estará en disposición de entender los avances en el campo de la simulación cuántica, comenzar trabajos de investigación en este campo y entender su impacto y aplicaciones tecnológicas potenciales.

#### Conocimientos previos necesarios

Aunque la asignatura es auto-contenida, se recomiendan los contenidos adquiridos por el alumno que ha cursado las asignaturas de Física Cuántica I, II, Óptica, Electromagnetismo I, II, y Mecánica Cuántica del grado de Físicas.

#### Bibliografía

#### Recursos en Internet

1. *Simulating physics with computers*, R. P. Feynman, Int. J. Theor. Phys. 21, 467 (1982).
2. *Universal Quantum Simulators*, S. Lloyd, Science 273,1073 (1996).

3. *Quantum simulation*, I. M. Georgescu, S. Ashhab, and Franco Nori, *Rev. Mod. Phys.* 86, 153 (2014)
4. *Nature Physics Insight: Quantum Simulation*, *Nature Physics* 8, 263–299 (2012)
5. *Ultracold Atoms in Optical Lattices: Simulating quantum many-body systems*, M. Lewenstein, A. Sanpera, & V. Ahufinger, Oxford Univ. Press (2012).

Página web del curso:

<http://www.ucm.es/info/giccucm/>

### Metodología

- A) Clases de teoría y problemas impartidos en la pizarra y con medios audiovisuales.
- B) Discusión de conceptos teóricos en relación con los desarrollos experimentales más recientes, apoyada por bibliografía reciente del campo y posibles seminarios de investigadores de reconocido prestigio en temas específicos.
- C) Estudio de un trabajo experimental o teórico mediante la lectura y discusión en clase de una publicación escogida por los estudiantes.
- D) Consolidación y evaluación de los conocimientos adquiridos a partir de problemas entregables semanalmente, sin examen final.
- E) Se estimulará y valorará la participación en clase y en tutorías.

### Evaluación

Realización de exámenes	Peso:	30%
Examen final escrito (ver calificación final). El examen tendrá una parte de cuestiones teórico-prácticas y/u otra parte de problemas de nivel similar a los resueltos en clase.		
Otras actividades de evaluación	Peso:	70%
Las actividades de evaluación continua constarán de, a lo sumo, dos tipos de pruebas: 1/ Entrega de ejercicios teóricos o prácticos cuya dificultad estará graduada en tres tipos: B (Baja), M (Media) y A (Alta). 2/ Entrega de un mini-trabajo de investigación sobre algún tema de la asignatura que haya adquirido relevancia durante el curso. Sirve de orientación para el trabajo de master.		
Calificación final		
Las pruebas de la evaluación continua supondrán en su conjunto, una calificación C cuyo valor estará comprendido entre 0 y 10 puntos. La corrección del examen final, cuando exista, dará lugar a una calificación E cuyo valor estará comprendido entre 0 y 3 puntos. La calificación final N estará comprendida entre 0 y 10 puntos, y se obtendrá como el mayor de los dos siguientes números C y F, con: $F = 0.7 C + E$ es decir la calificación final es $N = \max\{ C, F \}$		



## MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2016-17)

<b>Ficha de la asignatura:</b>	<b>Trabajo Fin de Máster</b>			<b>Código</b>	606793
<b>Materia:</b>	Trabajo Fin de Máster	<b>Módulo:</b>	Trabajo Fin de Máster		
<b>Carácter:</b>	Optativa	<b>Curso:</b>	1º	<b>Semestre:</b>	1º y 2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
<b>Créditos ECTS:</b>	12			
<b>Horas presenciales</b>				

<b>Profesor/a Coordinador/a:</b>	El tutor será el asignado por la Comisión Coordinadora del Máster de entre todos los doctores del ámbito de la Física Teórica de la Facultad de Físicas.			<b>Dpto:</b>	A determinar en cada caso
	<b>Despacho:</b>		<b>e-mail</b>		

### Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)

Como resultado de la realización del Trabajo de Fin de Máster el alumno habrá aprendido, en primer lugar a evaluar el estado de desarrollo de un problema dentro del marco de la Física Teórica actual, buscando referencias en forma de artículos de divulgación, libros de texto, artículos de revisión (reviews) e incluso artículos de investigación. Así mismo, habrá aprendido a aplicar metodologías, técnicas y competencias propias Física Teórica, desarrolladas en las distintas materias necesarias para resolver un problema concreto en el ámbito específico del Master. En concreto, se espera del alumno que adquiera las competencias explicadas en el apartado correspondiente y muy en particular que haya sido capaz de:

Estudiar en profundidad, analizar y desarrollar un tema concreto basándose en los contenidos y el nivel de las materias del Master.

Mostrar capacidad para aplicar las habilidades y competencias adquiridas durante los estudios del Master a situaciones concretas y nuevas.

Presentar un Proyecto, que puede incluir un componente de introducción a la investigación, haciendo una defensa oral del mismo.

### Resumen

Esta materia pretende el desarrollo por parte del alumno de un trabajo original de revisión o de investigación en el ámbito del programa del Máster de Física Teórica. Los TFM deberán tener un perfil académico o investigador, realizándose en el ámbito de la Universidad o centros de investigación relacionados con el máster o al menos autorizados por la Comisión Coordinadora del Máster. Los TFM deberán presentarse por escrito y posteriormente defenderse públicamente en las fechas que se establezcan para cada una de las dos convocatorias existentes en cada curso académico.

### Programa de la asignatura

El alumno desarrollará de manera individual alguno de los temas ofertados por los profesores que participen en el máster, que se encargarán de su seguimiento y supervisión. Los trabajos elegidos por los alumnos que tengan una orientación académica consistirán en una revisión en profundidad de teorías o modelos ya existentes. En cambio los trabajos que lleven a cabo alumnos que elijan la orientación investigadora deberán incorporar algún contenido original de modo que el trabajo pueda servir como iniciación de una actividad investigadora futura. Los temas sobre los que versarán trabajos de investigación se corresponderán con las líneas de investigación de los profesores del Máster y la comunidad de investigadores de todas las instituciones colaboradoras. Deberán contener algún aspecto novedoso y potencialmente podrían ser el punto de partida de futuras tesis doctorales en los casos que así resultara posible.

### Metodología

Trabajo de Fin de Máster. Para la realización del Trabajo de Fin de Máster de 12 ECTS, el alumno desarrollará de manera individual algunos de los temas ofertados por profesores que participan en el máster, que se encargarán de su seguimiento y supervisión. Los trabajos realizados por los alumnos que elijan la orientación académica tendrán un enfoque orientado a la revisión en profundidad de teorías o modelos ya existentes. En cambio, los trabajos que lleven a cabo los alumnos que elijan la orientación investigadora tendrán que incorporar algún contenido original, de modo que el trabajo pueda servir como iniciación a una carrera investigadora.

### Evaluación

<b>Realización de exámenes</b>	<b>Peso:</b>	
<b>Otras actividades de evaluación</b>	<b>Peso:</b>	100%
Realización y presentación del Trabajo Fin de Máster (Tr)		

### Calificación final

Cf = Tr

### 3. Tabla de horarios.

#### PRIMER SEMESTRE

	L	M	X	J	V
10:00		Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales	Complementos de Análisis Matemático en Física	Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales	Relatividad General
10:30					
11:00		Información Cuántica y Computación cuántica	Relatividad General	Complementos de Análisis Matemático en Física	Información Cuántica y Computación cuántica
11:30					
12:00					
12:30					

#### SEGUNDO SEMESTRE

	L	M	X	J	V
09:00					
09:30					
10:00	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos	Fenomenología Modelo Estándar	Campos y Cuerdas	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos	Fenomenología Modelo Estándar
10:30					
11:00					
11:30	Física Exp. de Partículas y Cosmología	Sistemas Complejos	Física de Astropartículas	Sistemas Complejos	Física de Astropartículas
12:00					
12:30					
13:00	Campos y Cuerdas			Física Exp. de Partículas y Cosmología	Física del Modelo Cosmológico Estándar
13:30					
14:00					
14:30	Modelos Integrables en Física		Modelos Integrables en Física		Simulación Cuántica
15:00					
15:30					
16:00	Simulación Cuántica		Física del Modelo Cosmológico Estándar		
16:30					
17:00					
17:30					

## 4. Calendario académico.

Periodos de clases y exámenes	
Clases Primer Semestre:	del 26* de septiembre al 22 de diciembre de 2016 y del 9 de enero al 20 de enero de 2017
Exámenes Primer Semestre (febrero):	del 23 de enero al 13 de febrero de 2017
Clases Segundo Semestre:	del 14 de febrero al 6 de abril de 2017 y del 18 de abril al 2 de junio de 2017
Exámenes Segundo Semestre (junio):	del 5 al 27 de junio de 2017
Exámenes Septiembre	del 1 al 19 de septiembre de 2017

*\*La apertura del curso académico se celebrará el día 26 de septiembre, siendo día lectivo.*

Festividades y días no lectivos	
12 de octubre	Fiesta Nacional
1 de noviembre	Festividad de Todos los Santos
9 de noviembre	Madrid, festividad de La Almudena
14 de noviembre	San Alberto Magno
6 de diciembre	Día de la Constitución Española
8 de diciembre	Festividad Inmaculada Concepción
27 de enero	Santo Tomás de Aquino
2 de mayo	Festividad Comunidad de Madrid
15 de mayo	Madrid, festividad de San Isidro
Del 23 de diciembre al 6 de enero	Vacaciones de Navidad
Del 7 al 17 de abril	Vacaciones de Semana Santa
Del 17 de julio al 31 de agosto	Vacaciones de Verano

4.1. Calendario gráfico



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**  
 Calendario Académico del Curso 2016/2017

**2016**

Septiembre-Octubre						
L	M	X	J	V	S	D
26	27	28	29	30	1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Noviembre						
L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

Diciembre						
L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

**2017**

Enero						
L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Febrero						
L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28				

Marzo						
L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Abril						
L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

Mayo						
L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Junio						
L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Julio						
L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Agosto						
L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

Septiembre						
L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

(26sep) Apertura del curso    27 Santo Tomás de Aquino    14 San Alberto Magno

- Periodos de exámenes
- Periodos no lectivos
- Fin plazo entrega actas
- Exámenes parciales de 1º Grado en Física
- Tribunales Trabajos Fin de Grado en Física