Curso

2019-2020

Guía Docente del Máster en Física Teórica



Facultad de Ciencias Físicas Universidad Complutense de Madrid

Versión 1.1 – 27/06/2019

Aprobada en Junta de Facultad el 27/06/2019

Tabla de contenidos

1.	Introducción	2
	1.1. Estructura general	2
	1.2. Materias	
	1.3. Asignaturas	
	1.4 Complementos de Formación	
	1.5 Competencias	
2.	Fichas de las asignaturas	
	Teorías Gauge de las Interacciones Fundamentales	
	Fenomenología del Modelo Estándar	
	Campos y Cuerdas	
	Física de Astropartículas	
	Física Experimental de Partículas y Cosmología	
	Complementos de Análisis Matemático en Física	
	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física	
	Modelos Integrables en Física	
	Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos	
	Sistemas Complejos	
	Relatividad General	41
	Física del Modelo Cosmológico Estándar	44
	Información Cuántica y Computación Cuántica	48
	Simulación Cuántica	
	Trabajo Fin de Máster	57
3.	Tabla de horarios.	59
4.	Calendario Académico	60
ΑN	IEXO. Enlaces de interés	62
Co	ntrol de cambios	63

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 aproximadamente 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	Teorías Gauge de las	Obligatoria	6
Fundamentales	Interacciones		
	Fundamentales		
	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	Complementos de Análisis Matemático en Física	Obligatoria	6
Estadísticos	Complementos de Geometría y Teoría de Grupos en Física	Optativa	6
	Modelos Integrables en Física	Optativa	6
	Fenómenos Colectivos en Teoría de Campos	Optativa	6
	Sistemas Complejos	Optativa	6
Cosmología y	Relatividad General	Obligatoria	6
Relatividad General	Física del Modelo	Optativa	6
	Cosmológico Estándar		
Información	Información Cuántica y	Obligatoria	6
Cuántica	Computación Cuántica		
	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,
Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos,
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, Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos.
- 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, Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos, 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, experimanetal 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 multidisciplinares 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.

TRABAJO FIN DE MÁSTER			SISTEMAS COMPLEIOS	NODELOS INTEGRABLES EN FÍSICA	FENÓMENOS COLECTIVOS EN TEORÍA DE CAMPOS	OMPLEMENTOS DE GEOMETRÍA Y TEORÍA DE GRUPOS EN FÍSICA	OMPLEMENTOS DE ANÁUSIS MATEMÁTICO EN FÍSICA			TEORÍAS GAUGE DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES	FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS Y COSMOLOGÍA	HSICA DE ASTROPARTÍCULAS	FENOMENOLOGÍA DEL MODELO ESTÁNDAR	:AMPOS Y CUERDAS			SIMULACIÓN CUÁNTICA	NFORMACIÓN CUÁNTICA Y COMPUTACIÓN CUÁNTICA			RELATIVIDAD GENERAL	FÍSICA DEL MODELO COSMO LÓ GICO ESTÁNDAR		
Trabajo de fin de master			Optativa	Optativa	Optativa	l FÍSICA Optativa	Obligatoria			S Obligatoria	Optativa	Optativa	Optativa	Optativa			Optativa	Obligatoria			Obligatoria	Optativa		
			Métodos Matemáticos y Estadísticos	Métodos Matemáticos y Estadísticos	Métodos Matemáticos y Estadísticos	Métodos Matemáticos y Estadísticos	Métodos Matemáticos y Estadísticos			Interacciones Fundamentales	Interacciones Fundamentales	Interacciones Fundamentales	Interacciones Fundamentales	Interacciones Fundamentales			Información Cuántica	Información Cuántica			Cosmología y Relatividad General	Cosmología y Relatividad General		
×	086		Χ	Χ	Х	Х	Χ	086		Χ	Χ	X	Χ	Χ	086		Χ	Χ	980		Х	×	8	
×	СВ7		Χ	χ	Х	Χ	Χ	СВ7		Χ	Χ	Χ	χ	Х	СВ7		χ	Х	СВ7		Χ	Χ	087	
×	883		χ	χ	χ	χ	χ	CB 8		χ	Χ	Х	χ	Х	883		χ	Х	880		Χ	Χ	88	
×	CB9			χ		χ	χ	CB9		χ	Х	X	χ		CB9			Χ	089		Χ	X	8	
Х	CB10		χ	χ	χ	χ	χ	CB10		χ	Χ	Х	χ	Х	CB10		χ	Х	CB10		χ	Χ	0810	
×	CG1		χ	χ	Χ	Χ	χ	CGI		χ	×	×	Χ	X	CGI		χ	Х	CG1		Χ	×	8	8
×	CG2	H	Χ	Χ	Х	Χ	Х	CG2	Н	Χ	Х	Х	Χ	Х	CG2		Χ	Х	CG2		X	X	82	PETEN
×	CG3		χ	χ	Х	Χ	χ	063		χ	×	×	Χ	X	CG3		χ	Х	63		Χ	×	8	CIAS
×	CG4	H	Х	Х	Х	Х	Х	CG4		Х	X	X	Х	X	CG4		Х	Х	CG4		Х	X	CB10 CG1 CG2 CG3 CG4 CG5 CG6 CG7	COMPETENCIAS BÁSICA Y GENERALES
×	CG5	\vdash	Χ	Χ	Х	Х	X	065	Н	Χ	X	×	Χ	Х	065		Χ	Х	CG5		X	×	8	AV GE
×	066			Н	Х		Х	066	Н	Χ	X	X	Н		066		Н	Х	993		><		8	NERAL
×	CG7				Х		X	067		Χ					CG7			Х	067		X		8	E
×	CG8	\vdash		Х		Х	Х	CG8	Н	Х	×	×	Х		CG8			X	890		~	×	8	
×	693	\vdash					Х	693	Н	Х			Н		693			Х	693		X		6	
×	CG10	H			Х		Х	CG10		Χ					CG10			Х	0010		×		610	
×) (G11			Х		Х	Х	0611		Х	X	Х	Х) (G11			Х	0611		X	Х	611	
×	1 [[]	\vdash	Х	Х	Х	Х	Х	1 (11	Н	Х	X	×	Х	X	1 (11		Х	Х	1 (11		Х	×	9	
×	CT2	H	Χ	Х	Х	Х	Х	CT2	П	Χ	Χ	Х	Х	Х	CT2		Х	Х	CT2		×	X	CT1 CT2	
Х	CT3		χ	χ	χ	χ	χ	CT3		χ	Χ	Х	χ	Х	CT3		χ	Х	CT3		χ	Χ	a	8
X	CT4		χ	χ	Х	χ	χ	CT4		χ	Χ	Х	χ	Х	CT4		χ	Х	CT4		Χ	X	9	COMPETENCIAS TRANSVERSALES
×	CT5		Х	Х	Х	Х	Χ	CTS		Х	Χ	X	Χ	X	CTS		Х	Х	CTS		Х	X	CTS CT6	NOIAS
×	CT6		Χ	Χ	Χ	Χ	Χ	CT6		χ	X	×	Χ	X	CT6		Χ	Х	913		×	×		룓
\vdash	CT7	H					Х	CT7		Χ					CT7			Х	CT7		Х		9	SVER
×	CT8						χ	CT8		χ					CT8			Х	CT8		Χ		9	SALES
Х	CT9			χ	χ	χ	χ	CT9		χ	χ	Χ	χ		CT9			Х	CT9		X	Χ	CT7 CT8 CT9 CT10	
Χ	CT 10			χ		χ	χ	CT 10		χ	χ	Χ	χ		CT 10			Χ	CT 10		Χ	Χ		
Х	Œ1 (χ	χ	Х	χ	Х	Œ1 (χ	Х	Х	Х	Х	Œ1 (χ	Х	Œ1 (Х	Х	CEI CE2	8
Х	CEZ C	\Box	χ	χ	Х	χ	χ	CEZ C		χ	χ	χ	Х	Х	CEZ C		χ	Х	0E2 (C		Х	Χ	CE2 C	COMPTENCIAS ESPECÍFICAS
×) EEO	$oxed{oxed}$	χ	χ	Х	Х	χ	0E3 (Ц	χ	χ	Χ	χ	Х) EEO	L	Х	Х) EEO	Щ	Х	Χ	8	CIAS
Х	Œ4 Œ5	\vdash	L	Н	ХХ	H	ХХ	CE4 CE5	H	XX	XX	Х	Н		CE4 CE5	H	Н	ХХ	CE4 CE5	\vdash	ХХ	X	CE4 CE5 CE6	SPEC
×	5 OE 6	\vdash	\vdash	Н	`	Н	X	5 OE 6	Н	XX	^	^	Н		5 OE 6	\vdash	Н	X	55 OE6	Н	X	^	35 CE	FICAS
	5		_	ш	Щ	ш		5	ш			\Box	ш		5		ш		5	ш			5	

2. Fichas de las asignaturas



MÁSTER EN FÍSICA TEÓRICA (curso 2019-20)

Ficha de la asignatura:		Teorías Gauge Interacciones Fundamentale	Código	6	06794		
Materia:		teracciones ndamentales	Módulo:	Tema	ıs de Físic	a T	eórica
Carácter:	Ol	oligatorio	Curso:	1º	Semestr	e:	1º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
Créditos ECTS:	6	4.2	1.8	
Horas presenciales	45	30	15	0

Profesor/a Coordinador/a:	Ignazio Scime	Dpto:	FT		
	Despacho:	23, 2ª pl. O	e-mail	ignazio	s@ucm.

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado									
Aula	Aula Día Horario Profesor Periodo/Fechas Horas Dpto.									
14	X V	11:30-13:00 10:00-11:30	Ignazio Scimemi	Todo el curso	45	FT				

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado								
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar					
Ignazio Scimemi	M,J: 11:30 a 13:00 (+3h no pr.)	ignazios@ucm.es	Despacho 23 (2ª planta) Depto FT					

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- 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 implemetación de la ruptura espontánea de simetría.
- Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil.

Competencias

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.

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

Introdución 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. Correciones 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 espontanea 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 Finantial 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.

Evaluación								
Realización de exámenes Peso: 60%								
Se realizará un examen (EX) a final de curso sobre el temario explicado en clase								
Otras actividades de evaluación Peso: 40%								

Se evaluarán problemas y ejercicios propuestos en clase y entregados por el alumno (PR).

_				,		
Ca	liti	ca	CI	or	۱t (nal

Nota = 0.6 EX + 0.4 PR



Ficha de la asignatura:		Fenomenología del Modelo Estándar				
Materia:	Interacciones Fundamentales Módulo: Temas de Fí		ıs de Física	Teć	brica	
Carácter:	Optativo	Curso:	1 Semestre:			2

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
Créditos ECTS:	6	4.2	1.8	
Horas presenciales	45	30	15	

	Peláez Sagredo, José Ramón			Dpto:	FT
Coordinador:	Despacho:	8, 2ª Planta Ala Oeste. Depto. Física Teórica	e-mail	irpelaez@	fis.ucm.es

Teoría/Prácticas - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario	М	11:30-13:00	J.R. Peláez	Todo el curso	30	FT
3.2	V	9:30-11:00	A. Gómez Nicola	Todo el curso	15	FT

	Tutorías - Detalle de horarios y profesorado					
Profesor	horarios	e-mail	Lugar			
José R. Peláez	L: 11:00 a 12:00, X: 14:00 a 16:00 (3 h no pr.)	irpelaez@fis.ucm.es	Despacho 8, Planta 2, Ala Oeste. Depto. FT			
Angel Gómez Nicola	M,J: 15:00-18:00	gomez@ucm.es	Despacho 14, Planta 2, Ala Oeste. Depto. FT			

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- Conocer la formulación Lagrangiana de las interacciones fuerte y electrodébil
- Entender la fenomenología de las interacciones electrodébiles. Bosones 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.

Competencias

CB6, CB7, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG5, CG8, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3.

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 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. Correciones 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

Teorías efectivas. Determinación de parámetros en el Modelo Estándar. 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. sep
- 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)
- 10. P. Pascual, R. Tarrach, QCD for practitioners, Springer-Verlag, 1984
- 11. S. Pokorski, Gauge Field Theories, Cambridge monographs, 2001
- 12. C. Burgess, G. Moore, Standard Model (A primer), Cambridge University Press; Reprint editio (2012)
- 13. R. K. Ellis, W.J. Stirling, B.R. Webber, QCD and Collider Physics, Cambridge Monographs, 2003

Recursos en internet

PARTICLE DATA GROUP: http://pdg.lbl.gov/

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.

Evaluación					
Examen	Peso:	30%			
Se realizará un examen (E) con preguntas tipo test o breves					
Asistencia a clase y realización de ejercicios entregables Peso: 40%					
Se evaluará la asistencia y los problemas y ejercicios (AEj) propuestos en clase y entregados por					

el alumno.

Trabajos individuales	Peso:	30%
-----------------------	-------	-----

Se realizará un trabajo (Tr) sobre un tema de la asignatura que el alumno deberá entregar al final del curso.

Calificación final

0.4xAEj + 0.3xTr + 0.3xE



Ficha de la asignatura:		Campos y Cuer	npos y Cuerdas c		Código	6	06796
Materia:		teracciones indamentales	Módulo:	Temas de Física Teórica		eórica	
Carácter:	Op	otativo	Curso:	1º	Semestre		2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
Créditos ECTS:	6	4.2	1.8	
Horas presenciales	45	30	15	

Profesor/a Coordinador/a:	Fernando Ruiz Ruiz				Dpto:	FT
	Despacho:	11 (3ªO)	e-mail	<u>ferruiz(</u>	<u>@fis.ucm</u>	<u>.es</u>

Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.
Seminario 3.2	L X	13:00-14:30 10:30-12:00		Primera parte del semestre Segunda parte del semestre	20 25	FT

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado						
Profesor	horarios	e-mail	Lugar			
Rafael Hernández Redondo	M y J: 12:00-14:00 (2 h no pr.)	rafahern@ucm.es	Despacho 22 (planta 3 oeste)			
Fernando Ruiz Ruiz	Primer cuatrimestre L,X,V: 11:00-13:00 Segundo cuatrimestre L,M,X,J: 12:00-13:30	ferruiz@fis.ucm.es	Despacho 11 (planta 3 oeste)			

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- 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.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CE1, CE2, CE3.

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 necesitas conocimientos de de Mecánica cuántica, Campos cuánticos, Partículas elementales y una base matemática en Cálculo, Álgebra y Geometría diferencial.

Programa de la asignatura

l. 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 cohomlogía. 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. Polschinski, 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.

Eval	uación	
	Paso:	60%

Un examen final consistente en problemas o/y cuestiones.

Realización de exámenes

Otras actividades de evaluación	Peso:	40%

Entrega de problemas propuestos.

Calificación final

La media ponderada entre la nota obtenida en el examen y la obtenida en las otras actividades.



Ficha de la asignatura:	Fí	sica de Astrop	Código	60	6797		
Materia:	Interac	cciones fundamentales	Módulo:	Temas o	le Física ⁻	Teór	ica
Carácter:	Optativ	vo	Curso:	1º	Semesti	re:	2º

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

Profesor/a	Juan Abel Barrio Uña				Dpto:	EMFTEL
Coordinador/a:	Despacho:	221, 3ª planta	e-mail	baı	rrio@gae	ucm.es

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado									
Aula Día Horario Profesor Periodo/ Fechas Dpto.										
_		Jose Miguel Más Hesse	Febrero 2020	6	EMFTEL					
Seminario 3.2	X V	12:00 – 13:30 11:30 – 13:00	Marcos López Moya	Marzo 2020	5	EMFTEL				
	-		Juan Abel Barrio Uña	Abril 2020	17	EMFTEL				

	Prácticas/Laboratorios - Detalle de horarios y profesorado											
Grupo	Lugar	Horas	Dpto.									
	Laboratorio de 4 sesiones (X,V en las		Jaime Rosado Vélez	3	EMFTEL							
	Física Atómica	horas de teoría)	Juan Abel Barrio Uña	3	CIVIFICL							
A1	Aula de Informática 1 (4ª Planta)	3 sesiones (V en horario de clase)	Marcos López Moya	5	EMFTEL							
	ESAC (Villafranca del Castillo)	1 sesión de 6h (fecha por determinar)	Jose Miguel Más Hesse	6	EMFTEL							

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado								
Profesor horarios e-mail Lugar								
Juan Abel Barrio Uña	L, X: 14:00-15:30 (3 h no pr.)	barrio@gae.ucm.es	Dpcho 221 3ª planta					
Marcos López Moya	X: 10:00-13:00 (3 h no pr.)	marcos@gae.ucm.es	Dpcho 220 3ª planta					
Jaime Rosado Vélez L, X: 11:30 -13:00 (3 h no pr.) jaime_ros@fis.ucm.es Dpcho 24								

Jose Miguel Más Hesse | Concertar con profesor | mm@cab.inta-csic.es

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- Comprender la fenomenología del modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico.
- Entender los principales aceleradores cósmicos y la propagación de partículas en el Universo.
- Comprender las técnicas de detección en Física de (Astro)Partículas.
- Utilizar las técnicas de análisis, representación e interpretación de datos en Física de (Astro)Partículas.
- Conocer los principales problemas abiertos en Física de (Astro)Partículas y los experimentos que existen para abordarlos.
- Conocer el estado del arte en observaciones de interés cosmológico y las técnicas asociadas de tratamiento de datos

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5.

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, Núcleos 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, rayos gamma y rayos cósmicos.

VISITA A ESAC

Visita a las instalaciones de la European Spacy 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.

Bibliografía

Básica

- Katz, J.I., High Energy Astrophysics, Addison-Wesley, 1987
- M.S. Longair. High Energy Astrophysics Vol 1 y 2. Cambridge Univ. Press 1994.

Complementaria

- F. Aharonian. Very High Energy Cosmic Gamma Radiation. World Scientific 2004
- C. Grupen, G. Cowan, et al: Astroparticle Physics. Springer 2005
- D. Perkins, Particle Astrophysics, Oxford University Press, 2009
- T. Stanev, High energy cosmic rays, Springer, 2010.

Recursos en internet

Campus virtual con enlaces de interés para la asignatura.

Metodología

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.

Las prácticas de laboratorio tendrán lugar en el Laboratorio de Física Atómica, Nuclear y de Partículas, 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.

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.

Evaluación

Realización de exámenes Peso:

30%

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.

Otras actividades de evaluación Peso: 70%

Otras actividades de evaluación (OA):

- Presentación, oral y por escrito, de trabajos
- Realización de prácticas de laboratorio y ordenador
- Evaluación continua mediante participación en clases, resolución de ejercicios y tests propuestos en clase, etc.

Calificación final

La calificación final será Cf = 0.3*Ex + 0.7*OA



Ficha de la asignatura:	•	ca Experimental de tículas y Cosmología			6	06798
Materia:	Interacciones Fundamentales	Módulo:	Tema	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Optativo Curso: 1º Semes					2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
Créditos ECTS:	6	4.5	1.5	
Horas presenciales	45	28	14	3

Profesor/a	Begoña de la (Cruz Martí	nez		Dpto:	CIEMAT
Coordinador/a:	Despacho:		e-mail	Begona.dela	acruz@ci	emat.es

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado									
Aula	Aula Día Horario Profesor Periodo/ Fechas Dpto.									
Seminario 3.2		113:00-14:30	Maria de la Cruz Fouz	Febrero-Marzo Abril Mayo	9 11 8	CIEMAT				

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

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 Títulación)

- Comprender los resultados experimentales básicos en los que se basa el modelo estándar de las interacciones fundamentales y el modelo estándar cosmológico.
- Comprender las técnicas experimentales (detección, análisis de datos, interpretación de resultados) en Física de Partículas y Cosmología.
- Conocer los principales problemas abiertos en Física de Partículas y Cosmología y cómo se abordan en los experimentos actuales.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5.

Resumen

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 de Datos, Interpretación de Resultados Físicos Experimentales. Paradigmas de Computación científica. SuperComputacion y Computacion de altas prestaciones.

Modelo Estándar de Partículas e Interacciones: Bosones electrodébiles (W,Z,fotón), Estudios de quarks (c,b,top), Estudio del bosón de Higgs,

Búsquedas de Nueva Física: nuevas resonancias, SUSY, Dimensiones Extra, partículas de vida media anormalmente altas, gravitón, otras componentes exóticas

Estudios de Neutrinos: oscilaciones, masas. Neutrinos estériles.

Cosmología: Energía Oscura.

Conocimientos previos necesarios

Mecánica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales

Programa de la asignatura

1. Introducción a la Fisica 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, Calorimetros,
- Cámaras Deriva, RPCs, Detector Cerenkov, RICH,...
- Ejemplos transferencia de tecnología (aplicaciones física partículas a sociedad): PETs, aceleradores, Webs, GPS, materiales, laseres, 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 √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.

Practicas: 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. Gruppen

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 phsical 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				
Realización de exámenes Peso: 0%				
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%		

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. (65%)

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). (35%).

Calificación final

La calificación final será N_{Final} = 0.65 N(PR) + 0. 35 N(TR+OP), donde N(PR) y N(TR+OP) son (en una escala 0-10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores.



Ficha de la asignatura:	Complemento Matemático es			Código	6	06799
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	Módulo:	Temas de Física Teórica			eórica
Carácter:	Obligatorio	Curso:	1º Semestre:		:	1º

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

Profesor/a	Federico Finkel Morgenstern			Dpto.:	FT	
Coordinador/a	Despacho:	Ala oeste, 2ª planta, nº 20	e-mail:	ffink	el@ucm.e	<u>s</u>

Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.		
14	Miércoles Jueves	10:00–11:30 11:30–13:00		Todo el cuatrimestre	45	FT		

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado							
Profesor	Horarios	e-mail	Lugar				
Federico Finkel Morgenstern	Primer semestre Hasta el 27/10/2019: L 10:30-13:00 y 14:30-16:00 J 14:30-16:30 Desde el 28/10/2019: J 14:30-16:30 V 9:00-13:00 Segundo semestre X 12:00-13:00 y 14:30-16:30 V 10:00-13:00	ffinkel@ucm.es	Ala oeste, 2ª planta, despacho nº 20				

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.

Competencias

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.

Resumen

Teoría de la medida. 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.

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 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

Bibliografía

- N. Boccara. *Functional Analysis: An Introduction for Physicists.* Academic Press, New York, 1990.
- M. Reed and B. Simon, *Methods of Modern Mathematical Physics, vols. I, II.* Academic Press, New York, 1980.
- L. Abellanas y A. Galindo, *Espacios de Hilbert*, Eudema, 1987.
- V.S. Vladimirov, Methods of the Theory of Generalized Functions (Analytical Methods and Special Functions), CRC Press, 2002.
- I. Stakgold, Green's Functions and Boundary Value Problems, Wiley, 2011.
- C.M. Bender, S.A. Orszag, *Advanced Mathematical methods for scientists and engineers*. Springer 1999.

Recursos en internet

Campus virtual

Metodología

Se desarrollarán las siguientes actividades formativas:

- Clases de teoría
- Resolución en clase de problemas propuestos durante el curso

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: 0%					
Otras actividades de evaluación Peso: 100%					

La evaluación se realizará mediante las siguientes actividades:

- Entrega de problemas/trabajos propuestos (Calificación=Pp)
- Control(es) en clase sobre los problemas propuestos o similares (Calificación=Co)

Calificación final

La calificación final será un promedio de las actividades realizadas. Cf = 0.6 Pp + 0.4 Co



Ficha de la asignatura:	Geometría y Teo Grupos en Física	Teoría de Códig			60	06800
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	/lódulo:	Temas de Física Teórica			rica
Carácter:	Optativo C	Curso:	1º	Semestre	e:	2º

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

Profesor/a	Rafael Hernández Redondo					FT
Coordinador/a:	Despacho:	22, tercera planta Oeste	e-mail	rafa	ahern@u	ıcm.es

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado						
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.	
Semin. 3.2	L-J	10:00-11:30	Rafael Hernández Redondo	Todo el semestre	45	FT	

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado						
Profesor	horarios	e-mail	Lugar			
Rafael Hernández Redondo	M,V: 10:00-13:00	rafahern@ucm.es	Despacho 22, FT			

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

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.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3.

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 Algebras 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
- 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:	0%				
	•					
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)						

Entrega de problemas propuestos (Calificación=Pr).

Calificación final

La calificación final será Cf = 0.7 Tr + 0.3 Pr



Ficha de la asignatura:	Modelos Integ Física	Modelos Integrables en Física			6	06801
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	Módulo:	Temas de Física Teórica			eórica
Carácter:	Optativo	Curso:	1º	Semestr	е	2º

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

Profesor/a Coordinador/a:	Manuel Mañas Baena				Dpto:	FT
	Despacho:	10, 2ª O	e-mail	manuel.manas@ucm.es		

Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.		
Seminario 3.2	L J	15:00 - 16:30 15:00 - 16:30	Manuel Mañas Baena	Segundo semestre	45	FT		

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado						
Profesor	horarios	e-mail	Lugar			
Manuel Mañas Baena	M,X,V: 12:00-13:00 (3 h no pr.)	manuel.manas@ucm.es	Despacho 10, 2ª O			

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

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

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3.

Resumen

Se introducen técnicas básicas para el análisis de ecuaciones de onda (en derivadas parciales) no lineales. Se deducen las ecuaciones de Korteweg—de Vries, de Schrodinger no lineal NLS y las redes de Toda en diferentes contextos físicos. Se dan técnicas para su resolución como el método de *inverse scattering*. Finalmente, se presentan algunos resultados de integrabilidad de la mecánica clásica y la relación con la teoría de polinomios ortogonales.

Conocimientos previos necesarios

Ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales, variable compleja, geometría diferencial.

Programa de la asignatura

- 1. Introducción histórica:
 - a. Fermi—Pasta –Ulam y Zabusky—Kruskal
 - b. Scott Rusell
- 2. Ondas:
 - a. Transformada de Fourier. EDPs dispersivas
 - b. Energía y leyes de conservación. Caracteristicas
 - c. Ondas de choque y condiciones de Rankine-Hugoniot
 - d. La cuerda vibrante
 - e. EDPs bien puestas
- 3. Tecnicas asintóticas:
 - a. Método de la fase estacionaria y velocidad de grupo
 - b. La ecuación de Schrödinger libre
 - c. Velocidad de grupo y energía de la onda
 - d. Aplicación a KdV lineal
- 4. Método de las escalas multiples:
 - a. Análisis perturbativo regular
 - b. Método de Poincare—Stokes
 - c. Escalas múltiples
 - d. Pendulo simple
- 5. Ondas en aguas poco profundas
 - a. Ecuaciones de Navier-Stokes
 - i. Euler vs Lagrange. Tipos de fluidos
 - ii. Leray y el problema de Clay
 - b. Ecuaciones de Euler con frontera libre
 - i. Vorticidad. Fluidos irrotacionales
 - ii. Condiciones de frontera libre. Ondas lineales
 - c. Aguas someras y KdV
 - i. Ecuación de Boussinesq
 - ii. Escalas múltiples: KdV. KdV y dimensiones
 - iii. Tensión superficial. Ondas transversales y la ecuación de KP. Ondas solitarias
- 6. Elementos de la Teoria de sistemas integrables
 - a. Transformación de Miura. KdV y mKdV. Infinitas leyes de conservación
 - b. Invariancia Galileo. El papel de la ecuación de Schrödinger en KdV
 - c. Pares de Lax. AKNS y ecuaciones compatibles

- 7. El método del scaterring inverso para KdV:
 - a. Funciones de onda y wronskianos. Fórmulas de conexión
 - b. Extensión holomorfa: Funciones de Green y Ecuaciones de Volterra
 - c. El problema inverso
 - d. Evolución temporal de los datos de scatering
 - e. Problema de Riemann-Hilbert y solitones de KdV
- 8. Polinomios ortogonales y sistemas integrables
 - a. Series de Fourier y polinomios de Chebichev
 - b. Recurrencia y teorema de Favard
 - c. Stieljes y Markov
 - d. Reticulo de Toda y polinomios ortogonales

Bibliografía

Textos recomendados:

- Mark J Ablowitz, *Nonlinear Dispersive Waves, Asymptotic Analysis and Solitons* (Cambridge Texts in Applied Mathematics) Cambridge University Press (2011).
- Olivier Babelon, Denis Bernard y Michel Talon, *Introduction to Classical Integrable Systems* (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) Cambridge University Press (2007).
- Maciej Dunajski, Solitons, instantons, and twistors (Oxford Graduate Texts in Mathematics) Oxford University Press (2010).
- Vladimir S. Gerdjikov, Gaetano Vilasi, Alexandar B. Yanovski, *Integrable Hamiltonian Hierarchies* (Spectral and Geometric Methods) (Lecture Notes in Physics **748**) Springer (2008)
- Alex Kasman, Glimpses of Soliton Theory: The Algebra and Geometry of Nonlinear PDEs (Student Mathematical Library 054) American Mathematical Society (2010)

Clásicos:

- Mark J Ablowitz, y Peter, A. Clarkson, Solitons, nonlinear evolution equations and inverse scattering (London Mathematical Society lecture note series 149) Cambridge University Press (1991)
- Mark J Ablowitz y Harvey Segur, Solitons and Inverse Scattering Transform (SIAM Studies in Applied Mathematics 4) Society for Industrial Mathematics (2000).
- Leonid A. Dickey, *Soliton equations and Hamiltonian systems* (2ed.) (Advanced Series in Mathematical Physics **26**), World Scientific, (2003).
- P. G. Drazin y R.S. Johnson, Solitons: an introduction, Cambridge University Press (1989).
- Ludwig D Faddeev y Leon A Takhtajan, *Hamiltonian methods in the theory of solitons* (Classics in Mathematics) Springer (2007).
- Riogo Hirota, The direct method in soliton theory (Cambridge Tracts in Mathematics 155),
 Cambridge University Press (2004).
- Nigel J. Hitchin, Graeme B. Segal y Richard S Ward, *Integrable systems (twistors, loop groups and Riemann surfaces)* (Oxford Graduate Texts in Mathematics 4) Oxford University Press (1999).
- Alan C. Newell, Solitons in mathematics and physics (CBMS-NSF Regional Congerence Series in Applied Mathematics 48), Society for Industrial Mathematics (1985).
- Sergei P. Novikov, Solitons and geometry (Lezioni Fermiane), Cambridge University Press (1994).
- Sergei P. Novikov, Sergei V Manakov, L P. Pitevski y Volodia E. Zakharov, *Theory of Solitons (The inverse scattering theory)* (Monographs in Contemporary Physics) Springer.

Otros:

- Vladimir Belinski y Enric Verdaguer, *Gravitational Solitons* (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) Cambridge University Press (2001).
- John Harnad (ed.) Random Matrices, Random Processes and Integrable Systems (CRM Series in Mathematical Physics), Springer-Verlag New York (2011).
- Nicolas Manton y Paul Sutcliffe, Topological Solitons (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) Cambridge University Press (2004).
- Pol Vanhaecke, Integrable Systems in the Realm of Algebraic Geometry (Lecture Notes in Mathematics 1638) Springer (2001).

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 se realizarán fundamentalmente usando la pizarra y proyecciones con ordenador.

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

Evaluación					
Realización de exámenes	Peso:	0%			
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%			
Realización de trabajos (50%). (Tr)					
Realización de problemas (50%). (Pr)					
Calificación final					

CF = 0.5* TR + 0.5*Pr



Ficha de la asignatura:	Fenómenos Co Teoría de Can	ampos Código 6068				06802
Materia:	Métodos Matemáticos y Estadísticos	Módulo:	Tema	Temas de Física Teórica		eórica
Carácter:	Optativo	Curso:	10	Semestr	е	2º

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

Profesor/a	Víctor Martín	Dpto:	FT			
Coordinador/a:	Despacho:	4, 3 ^a O	e-mail	vicmarti@ud	cm.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.		
Seminario 3.2	J X		Víctor Martín Mayor Luis Antonio Fenández	Primera parte Segunda parte	30 15	FT		

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado			
Profesor	horarios	e-mail	Lugar
Víctor Martín Mayor	L: 09:00-13:00 M: 10:30-12:30	vicmarti@ucm.es	Desp. 4, 3ª pl O
Luis Antonio Fenández	M: 16;30-18:00 J: 16:00-18:00 (2.5 h no pr.)	Isntnfp@ucm.es	Desp. 3, 3ª pl O

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- Adquirir dominio suficiente de lenguajes de programación (C, Python, ...) para resolver problemas de cálculo numérico en Física, y aprender a evaluar de manera crítica los resultados obtenidos en las simulaciones numéricas.
- Adquirir competencias básicas de simulación de Monte Carlo, análisis estadístico de datos y estimación de errores.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG10, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5

Resumen

Integral de caminos como nexo de unión entre la teoría cuántica de campos y la mecánica estadística. Discretización y cuantificación de teorías de campos (variables bosónicas, fermiónicas y de gauge). Aplicaciones a la qcd: confinamiento, matriz de transferencia, masas. El método de monte carlo: cálculos no perturbativos en teoría cuántica de campos y en mecánica estadística. Regreso al continuo: la teoría de los fenómenos críticos, el grupo de renormalización en el espacio real y el *finite-size scaling*.

Conocimientos previos necesarios

Los propios de la especialidad de Física Fundamental (en particular Mecánica Cuántica, Teoría de Campos) y conocimientos básicos de Estadística.

Programa de la asignatura

- Mecánica Cuántica, y Teoría Cuántica de Campos formuladas como un problema de Mecánica Estadística.
- Cuantificación en el retículo: campos bosónicos y fermiónicos, álgebra de Grassmann.
- Campos de Gauge en el retículo. La acción de Wilson. Introducción a la QCD en el retículo.
- El método de Monte Carlo.
- El límite continuo: teoría de los fenómenos críticos. Grupo de Renormalización en el espacio real. *Fínite Size Scaling*.

Bibliografía

D.J. Amit & V. Martín Mayor, Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena. World-Scientific Singapore, third edition (2005).

Monte Carlo Methods in Statistical Mechanics: Foundations and New Algorithmics. A.D. Sokal 1996. http://www.stat.unc.edu/faculty/cji/Sokal.pdf.

- G. Parisi, Statistical Field Theory. Perseus Books Group (1998).
- M. Creutz, Quarks, gluons and lattices, Cambridge University Press (1983).
- H.J. Rothe, Lattice Gauge Theories, An Introduction. World-Scientific Singapore, second edition (1997).
- I. Montvay, G. Münster, Quantum Fields on a Lattice, Cambridge University Press (1994).

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 temas básicos se desarrollarán detalladamente mediante cálculos explícitos. Se dará una visión panorámica de los temas más avanzados, para información general y también para facilitar que los estudiantes interesados puedan profundicen en elos posteriormente.

Evaluación						
Realización de exámenes Peso: 0%						
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%				

Los profesores propondrán diversos temas relacionados con la asignatura. Cada estudiante deberá elegir uno de los temas, redactar un trabajo de extensión moderada y realizar una presentación del mismo.

Los temas propuestos podrán ser:

- Resúmenes de artículos recientes
- Complementar algún tema cuyo desarrollo sólo se ha iniciado durante las clases.
- Realizar un análisis numérico de datos procedentes de simulaciones de Monte Carlo (se proporcionarán los datos; no se requerirán conocimientos de programación).

Se podría plantear a quien esté particularmente interesado en profundizar en el tema de simulaciones de Monte el ampliar este proyecto hasta convertirlo en un Trabajo de Fin de Máster.

Calificación final

Realización y presentación de trabajo 100%



Ficha de la asignatura:		Sistemas Comp	Sistemas Complejos			6	06803
Materia:		étodos Matemáticos y tadísticos	Módulo:	Temas de Física Teórica		eórica	
Carácter:	Op	otativo	Curso:	1º	Semestr	e:	2º

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

Profesor/a	Chantal Valeriani Dpto:						
Coouding doules	Despacho:	Despacho 119. Planta 1ª Este	e-mail	cvaler	riani@uc	m.es	

Teoría - Detalle de horarios y profesorado							
Aula Día Horario Profesor				Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.	
Seminario 3.2	M J			Primera parte Segunda parte		EMFTEL Externa	

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado						
Profesor	horarios	e-mail	Lugar			
Chantal Valeriani	M,J: 13:00-14:30 (3 h no pr.)	cvaleriani@ucm.es	Despacho 119. Planta 1ª Este			
Inmaculada Leyva	Concertar con el profesor	Inmaculada.leyva@urjc.es				

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

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

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CE1, CE2, CE3.

Resumen

Dinámica no lineal y sistemas caóticos, Sincronización, Modelización estocástica, Teoria de campo medio, Exponentes críticos, Materia activa, Estructura y Dinámica en Redes Complejas.

Conocimientos previos necesarios

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

Programa de la asignatura

1. TRANSICIONES DE FASE Y MATERIA ACTIVA

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

2. MODELIZACIÓN ESTOCÁSTICA

Eventos aleatorios. Cadenas de Markov. Ecuación maestra. Ecuaciones diferenciales estocásticas: interpretación de Ito y de Stratonovich. Aplicaciones y fenómenos inducidos por ruido: motores Brownianos, dinámica de poblaciones.

3. DINÁMICA NO LINEAL Y FORMACIÓN DE PATRONES

Teoría cualitativa de ecuaciones diferenciales ordinarias. Bifurcaciones, estabilidad y caos. Sistemas excitables. Osciladores acoplados y sincronización. Ecuaciones de reacción-difusión y formación de patrones. Aplicaciones en modelización de cinética química, dinámica de poblaciones, finanzas, etc.

4. REDES COMPLEJAS

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.
- A. Katok y B. Hasselblatt, Introduction to the Modern Theory of Dynamical Systems, Cambridge University Press, 1997.
- 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.
- Gotelli, NJ, A primer of Ecology, Oxford University Press, 2008.

- Hull, JC, Options, Futures, and Other Derivatives, Pearson Education, 2015.
- A. Pikovsky, M. Rosenblum y J. Kurths, Synchronization, a universal concept in nonlinear sciences, Cambridge University Press, 2001.

Recursos en internet

- 1. Grupo de Sistemas complejos URIC: http://www.complexity.es/
- 2. Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC): http://valbuena.fis.ucm.es/gisc/

Metodología

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.

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.

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.

Evaluación						
Realización de exámenes	Peso:	0%				
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%				
Se evaluarán trabajo/ejercicios propuestos er	n clase y presentados por el alumno.					
Calificación final						
La calificación final será Cf = Pr.						



Ficha de la asignatura:		Relatividad Go	Relatividad General			6	06804
Materia:		smología y relatividad neral	Módulo:	Temas de Física Teórica			
Carácter:	Ob	oligatorio	Curso:	1º Semestre:		e:	1º

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

Profesor/a	Luis Manuel G	Sonzález R	Dpto:	FT		
Coordinador/a:	Despacho:	6	e-mail	mgromero	@fis.ucm.e	<u>es</u>

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/Fechas	Horas	Dpto.			
14	ΣJ	10:00-11:30 10:00-11:30	Luis Manuel González Romero	Todo el cuatrimestre	45	FT			

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado							
Profesor	horarios	e-mail	Lugar				
Luis Manuel González Romero	M,X,V:14:30-16:30	mgromero@fis.ucm.es	Despacho 6, planta 2				

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- Adquirir destrezas en las técnicas y conceptos geométricos para describir el espaciotiempo y la interacción gravitatoria.
- Compresión 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.

Competencias

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.

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

- Geometría del espaciotiempo
- Campos y gravedad. Ecuaciones de Einstein. Estrellas relativistas
- Estructura global del espaciotiempo y singularidades
- Colapso gravitacional y agujeros negros.
- Problema de condiciones iniciales y formulación 1+ 3.
- Radiación gravitatoria

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.

Evaluación					
Realización de exámenes	Peso:	0%			
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%			

Dependiendo del número de alumnos, algunas de las actividades siguientes:

- Controles en horario de clase (Calificación: Cc)
- 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 un promedio de las actividades realizadas. Cf = 0.4 Cc + 0.2 Pr + 0.4 Tr.



Física del Modelo Ficha de la Código 606805 asignatura: **Cosmológico Estándar** Cosmología y Relatividad Módulo: Temas de Física Teórica Materia: General Curso: 1 Semestre: 2 Carácter: Optativa

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

Profesor/a	Antonio López Maroto				Dpto:	FT
Coordinador/a:	Despacho:	14 3ª O	e-mail	maroto@u	cm.es	

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.			
		José Alberto Ruiz Cembranos	Todo el cuatrimestre	19	FT				
Semi nario 3.2	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	V 13:00-14:30	Antonio López Maroto	Todo el cuatrimestre	17	FT			
3.2			Mindaugas Karciauskas	Todo el cuatrimestre	3	FT			

	Practicas - Detalle de horarios y profesorado								
Grup	Lugar	Sesiones	Profesor	Horas	Dpto.				
A	Laboratorio de Física Computacional	4 sesiones en horario de clase	Mindaugas Karciauskas	6	FT				

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado							
Profesor	horarios	e-mail	Lugar				
Antonio López Maroto	M: 10:00-13:00 J: 15:00-18:00	maroto@ucm.es	Despacho 14 3ª O				
José Alberto Ruiz Cembranos	M, J: 10:30 -12:00 (3 h no pr.)	cembra@ucm.es	Despacho 17 3ª O				

Mindaugas Karciauskas	A determinar	mindauka@ucm.es	A determinar
-----------------------	--------------	-----------------	--------------

(X no pr.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual,...

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- 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.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG8, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5.

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 inciales, 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

Las prácticas consistirán en el uso de herramientas de cálculo simbólico dentro de la teoría de perturbaciones cosmológicas

Bibliografía

- V.F. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge, (2005)
- E.W. Kolb and M.S. Turner, *The Early Universe*, Addison-Wesley, (1990)
- S. Dodelson, *Modern Cosmology*, Academic Press (2003)
- A.R. Liddle and D.H. Lyth, Cosmological Inflation and Large-Scale Structure, Cambridge (2000)
- A.R. Liddle, An Introduction to Modern Cosmology, Wiley (2003)
- T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, vols: I, II y III, Cambridge (2000)
- S. Weinberg, Cosmology, Oxford (2008)
- R. Durrer, The Cosmic Microwave Background, Cambridge (2008)

Recursos en internet

Campus virtual

Metodología

Clases de teoría y problemas.

• 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.

_						,	
-	/al	п	2	~	П		n
	701		а	۱.		w	

Realización de exámenes

Peso:

60%

El examen consistirá en la resolución de cuestiones teóricas y/o problemas (de nivel similar a los resueltos en clase) (Ex).

Otras actividades de evaluación

Peso:

40%

Presentación de ejercicios y memoria de prácticas. (Tr)

Calificación final

La calificación final será la más alta de las siguientes dos opciones:

- N_{Final} = 0.6 N_{Ex} +0.4 N_{Otras} , donde N_{Ex} y N_{Otras} son (en una escala 0 a 10) las calificaciones obtenidas en los dos apartados anteriores
 - Nota del examen final



Ficha de la asignatura:		Información Cuántica y Computación Cuántica			606806
Materia:	Información Cuántica	Módulo:	Temas de Física Teórica		
Carácter:	Obligatorio	Curso:	1º	Semestre	: 1 ^a

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

Profesor/a	Miguel A. Martin-Delgado				Dpto:	FT
Coordinador/a:	Despacho:	8 FT, pl 3	e-mail	mardel@mi	randa.fis.	ucm.es

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor	Periodo/ Fechas	Horas	Dpto.			
			Miguel A. Martin-Delgado	Tercera parte	29				
14	M,V	11:30-13:00	Alberto Galindo	Primera parte	5	FT			
			Angel Rivas Vargas	Segunda parte	11				

Tutorías - Detalle de horarios y profesorado							
Profesor	Lugar						
Miguel A. Martin-Delgado	M: 14:00 a 20:00 J: 15:30 a 18:30	mardel@miranda.fis.ucm.es	Desp 8 FT, pl 3				
Angel Rivas Vargas	L y X: 15:00-16:30 J:16:30-19:30	anrivas@ucm.es	Desp 15 Ft, pl 3				

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- 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 fenónemos 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.

Competencias

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.

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 fenónemos 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.

Programa de la asignatura

- 1. ntroducción al Formalismo de la Mecánica Cuántica (problemas)
- 2. Teoría Clasica de la Información
 - 1. Primer Teorema de Shannon
 - 2. Segundo Teorema de Shannon
 - 3. Corrección Clásica de Errores
- 3. Puertas Lógicas y Circuitos Clásicos
- 4. Información Cuántica
 - 1. Del Bit al Qubit
 - 2. Puertas Lógicas y Circuitos Cuánticos
 - 3. Canales Cuánticos
- 5. Protocolos de Comunicación Cuánticos
 - 1. Teleportación
 - 2. Codificación Densa
 - 3. Criptografía Cuántica
- 6. Algoritmos Cuánticos

- 1. Algoritmo de Grover
- 2. Algoritmo de Shor
- 7. Medidas de cercanía entre estados cuanticos
 - 1. Entropía relativa.
 - 2. Distancia en traza.
 - 3. Fidelidad y distancia de Bures.
 - 4. Otras medidas de distancia.
- 8. Teoría de medidas generalizadas
 - 1. Repaso medidas proyectivas.
 - 2. Medidas generalizadas, POVM.
 - 3. Discriminación de estados cuánticos.
 - 4. Tomografía de estados.
- 9. Extensión de la teoría de operaciones cuánticas o canales
 - 1. Representaciones de canales cuánticos (Kraus, Stinespring, dinámicas reducidas, Choi-Jamiolkowski, vectorizaciones).
 - 2. Desigualdades canales-distancias (data processing-inequalities).
 - 3. Ruido classico (random unitary channels) y ruido cuántico.
 - 4. Fidelidad de un canal.
 - 5. Tomografía de canales.
- 10. Medidas de entrelazamiento
 - 1. El paradigma "Operaciones locales y comunicación clásica"
 - 2. Requisitos de una medida de entrelazamiento.
 - 3. Estados puros: entropía de entrelazamiento.
 - 4. Medidas de entrelazamiento y Monotonías de entrelazamiento.
- 11. Computacion Cuantica con Variables Continuas

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*. Camridge 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/giccucm/

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				
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 }



Ficha de la asignatura:		Simulación Cua	Código		606807		
Materia:	In	formación Cuántica	Módulo:				
Carácter:	Oı	otativo	Curso:	1º	Semestr	e:	2º

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

Profesor/a	Miguel A. Martín-Delgado					FT
Coordinador/a:	Despacho:	08 FT, pl 3	e-mail	mardel@mirar	da.fis.uc	m.es

	Teoría - Detalle de horarios y profesorado								
Aula	Día	Horario	Profesor Periodo/Fechas Horas D						
Seminario 3.2	L X	16:30-18:00	Miguel A. Martín-Delgado Luis Lorenzo Sánchez Soto Alejandro Bermúdez	Mayo Febrero Marzo	17,5 15 12,5	FT Óptica FT			

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	Desp 8 FT, pl 3			
Luis Lorenzo Sánchez Soto	L: 10:30-12:30h; X: 15:30-17:30 y J: 13:30-15:30h	lsanchez@ucm.es	Desp Óptica			
Alejandro Bermúdez	L:11:00-13:00 M y V: 14:00-15:30 J:18:00-19:00	albermud@ucm.es	Desp 9 FT, pl 2			

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

- 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 fenónemos no clásicos de luz.
- Compresión 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.

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CE1, CE2, CE3.

Resumen

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.

Programa de la asignatura

1 - Introducción: motivación de la simulación cuántica

- El desafío de la teoría cuántica de muchos cuerpos.
- Nuevas tecnologías de control del mundo microscópico.
 - Sistemas de iones atrapados, redes ópticas de átomos.
 - Computación cuántica y simulación cuántica digital.
 - Simulación cuántica analógica: simuladores cuánticos e ingeniería cuántica de materiales.

2 - Principios de óptica cuántica aplicados a la simulación cuántica.

- Interacción luz-materia.
- Eliminación adiabática de grados de libertad: Hamiltonianos efectivos.
- Efectos mecánicos de la interacción luz-materia: potenciales y fuerzas ópticas, principios de atrapamiento de átomos.
- Enfriamiento láser.
- Preparación y medición de estados cuánticos por medios ópticos.

3 - Átomos Ultrafríos en Redes Ópticas

- Gases atómicos ultrafríos. Bosones (BEC) y fermiones.
- Descripción en términos de tight-binding.
- Modelo de Bose-Hubbard. Aproximación de Gutzwiller. Fases Cuánticas.
- Control de las interacciones entre átomos.
- 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. Límite de Heisenberg. Mejoras con entrelazamiento.

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 presitigio 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 teóricoprácticas 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 }



Ficha de la asignatura:		Trabajo Fin de N	Náster	Código		606793	
Materia:	Trabajo Fin de Máster		Módulo:	Trabajo Fin de Máster			er
Carácter:	Op	otativa	Curso:	1º	Semestre	e:	1º y 2º

	Total	Teóricos Seminarios	Práct	Lab.
Créditos ECTS:	12			
Horas presenciales				

Profesor/a	Luis Manuel González Romero				Dpto:	FT
Coordinador/a:	Despacho:	6	e-mail	mgromero@	@fis.ucn	<u>1.es</u>

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Títulación)

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 Físca 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 Máster. 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 Máster.

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

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

Competencias

CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8, CG9, CG10, CG11, CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CT8, CT9, CT10, CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6.

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						
Realización de exámenes	Peso:					
Otras actividades de evaluación	Peso:	100%				
Realización y presentación del Trabajo Fin de Máster (Tr)						
Calificación final						
Cf = Tr						

3. Tabla de horarios.

PRIMER SEMESTRE

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

SEGUNDO SEMESTRE

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

4. Calendario Académico

Periodos de clases y exámenes			
Clases Primer Semestre:	del 5 de septiembre al 17 de diciembre de 2019		
Exámenes Primer Semestre (diciembre-enero):	18 y 19 de diciembre de 2019 del 9 al 24 de enero de 2020		
Clases Segundo Semestre:	del 27 de enero al 2 de abril de 2020 y del 14 de abril al 14 de mayo de 2020		
Exámenes Segundo Semestre (mayojunio):	del 18 de mayo al 4 de junio de 2020		
Exámenes Segunda Convocatoria (junio-julio)	del 17 de junio al 7 de julio de 2020		

Nótese que cada ficha indica el número de horas de que consta la asignatura, por lo que en algunas el final de las clases podría ser anterior al final del periodo lectivo.

Festividades y días no lectivos				
1 de noviembre	Todos los Santos			
15 de noviembre	San Alberto Magno			
6 de diciembre	Día de la Constitución Española			
9 de diciembre	Declarado por UCM día no lectivo			
31 de enero	Santo Tomás de Aquino trasladado			
1 de mayo	Día del Trabajo			
15 de mayo	Madrid, festividad de San Isidro			
Del 20 de diciembre al 7 de enero	Vacaciones de Navidad			
Del 3 al 13 de abril	Vacaciones de Semana Santa			
Del 21 de julio al 31 de agosto	Vacaciones de verano			

Calendario aprobado en los Consejos de Gobierno de la UCM del 27/11/18 y del 19/03/19 (https://www.ucm.es/calendarios)

Con este calendario, la distribución de días lectivos por semestre y día de la semana resulta ser el reflejado en la tabla de la derecha.

	L	М	Χ	J	٧	dias
S1	14	15	14	15	12	70
S2	14	15	15	15	11	70

Para compensar parcialmente estas diferencias la Facultad ha decidido que todas las clases que se impartirán el jueves 2 de abril serán las correspondientes a un viernes del 2º semestre.

[Esto se aplica a todos los Grados y Másteres. Las escasas incompatibilidades que puedan surgir con la docencia en otras facultades se solventarán con la recuperación de esas clases].



Facultad de Ciencias Físicas Calendario académico del curso 2019-20



(aprobado en la Junta de Facultad del 27-3-19)

Septiembre	Octubre	Noviembre		
L M X J V S D	L M X J V S D	L M X J V S	D	
1	1 2 3 4 5 6	1 2	3	
2 3 4 5 6 7 8	7 8 9 10 11 12 13	4 5 6 7 8 9	10	
9 10 11 12 13 14 15	14 15 16 17 18 19 20	11 12 13 14 15 16 1	17	
16 17 18 19 20 21 22	21 22 23 24 25 26 27	18 19 20 21 22 23 2	24	
23 24 25 26 27 28 29	28 29 30 31	25 26 27 28 29 30		
30				
2019	2020 Fnore	Fahrara		
Diciembre	Enero	Febrero	_	
L M X J V S D	L M X J V S D		D	
1	1 2 3 4 5		2	
2 3 4 5 6 7 8	6 7 8 9 10 11 12		9	
9 10 11 12 13 14 15	13 14 15 16 17 18 19		16	
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29	20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31		23	
23 24 25 26 27 28 29 30 31	27 28 29 30 31	24 25 26 27 28 29		
30 31				
Marzo	Abril	Mayo		
L M X J V S D	L M X J V S D	L M X J V S	D	
1	1 2 3 4 5	1 2	3	
2 3 4 5 6 7 8	6 7 8 9 10 11 12	4 5 6 7 8 9	10	
9 10 11 12 13 14 15	13 <mark>14 15 16 17</mark> 18 19	11 12 13 14 15 16 ¹	17	
16 17 18 19 20 21 22	20 21 22 23 24 25 26	18 19 20 21 22 23 2	24	
23 24 25 26 27 28 29	27 28 29 30	25 26 27 28 29 30 3	31	
30 31				
Junio	Julio	Agosto		
L M X J V S D	L M X J V S D		D	
1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5		2	
8 9 10 11 12 13 14	6 7 8 9 10 11 12		9	
15 16 17 18 19 20 21	13 14 15 16 17 18 19		16	
22 23 24 25 26 27 28	20 21 22 23 24 25 26		23	
29 30	27 28 29 30 31		30	
		31		
clases semestre 1	clases semestre 2 2	`viemes' parciales de	10	
Ciases sellestie i	Ciases semestie 2	parciales de	1	
exámenes	ectura TFGs entrega de a	actas x no lectivos		

Aprobado en Junta de Facultad del 27-3-2019 y modificado en la del 27-6-19. Una vez que se publiquen en el BOE y en el BOCM las correspondientes normas sobre días festivos para el próximo año 2020, tanto de ámbito nacional, autonómico y local, se reflejarán en este calendario

ANEXO. Enlaces de interés

A continuación se muestrtan algunos enlaces que pueden ser de utilidad para los alumnos de la titulación. La mayoría de ellos se pueden consultar en la página web de la secretaría de Físicas https://fisicas.ucm.es/secretaria-de-estudiantes. También puede consultarse la normativa general de la UCM en los enlaces www.ucm.es/normativa, https://www.ucm.es/grado.

Normas de matrícula y de permanencia

Normativa general de la UCM:

Instrucciones de gestión de la Matrícula (estudios oficiales de Grado y Máster) https://www.ucm.es/matricula-estudios-oficiales

Anulación de matrícula https://www.ucm.es/anulacion-de-matricula-1

Tribunales de Compensación https://fisicas.ucm.es/estudios-de-grado

Normas de permanencia https://www.ucm.es/permanencia-en-la-universidad-

Normativa específica de la Facultad de CC Físicas:

Alumnos de nuevo acceso https://fisicas.ucm.es/matriculanuevoingreso

Resto de alumnos https://fisicas.ucm.es/matricula-resto-de-alumnos

Reconocimiento de créditos http://fisicas.ucm.es/reconocimiento-creditos-grado

Dicho reconocimiento puede obtenerse por:

Realización de actividades universitarias culturales, deportivas, de representación estudiantil, solidarias y de cooperación de la UCM (BOUC no.18 del 8/9/2016) http://pendientedemigracion.ucm.es/bouc/pdf/2470.pdf

Asignaturas superadas en otros estudios

https://www.ucm.es/continuar-estudios-iniciados-en-el-extranjero

Control de cambios

Versión	Fecha modificación	Cambio efectuado	Secciones afectadas	Páginas afectadas
1.0	03/06/2019	Primera versión. Pendiente aprobación Junta de Facultad		
1.1	27/06/2019	Aprobada en Junta de Facultad el 27/06/2019		