



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 1. ASIGNATURA / COURSE

### TRABAJO DE FIN DE GRADO

#### 1.1. Código / Course Code

16416

#### 1.2. Tipo / Type of Course

Obligatorio

#### 1.3. Nivel / Level of Course

Grado / Grade

#### 1.4. Curso / Year of course

Cuarto

#### 1.5. Semestre / Semester

Anual

#### 1.6. Idioma / Language

Español. Se emplea también Inglés en material docente / In addition to Spanish, English is also extensively used in teaching material

#### 1.7. Requisitos Previos / Prerequisites

150 créditos superados que deben incluir las tres asignaturas del modulo experimental: Técnicas Experimentales I, II y III.

#### 1.8. ¿Es obligatoria la asistencia? / Is attendance to class mandatory?

Obligatoria la asistencia al Laboratorio correspondiente por un mínimo de 60 horas presenciales durante el periodo TFG-EXP.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 1.9. Datos de los Profesores / Faculty Data

Coordinador:

Álvaro Martín Rodero

Departamento: Física Teórica de la Materia Condensada

Facultad: Ciencias

Módulo 05 Despacho 610

Teléfono: 91 497 4909

E-mail: [alvaro.martin@uam.es](mailto:alvaro.martin@uam.es)

Página Web:

Horario de Tutorías Generales:

Coordinadores de Laboratorios:

Depto. de Física Teórica: Carlos Eiroa

Depto. de Física de Materiales: Pablo Molina

Depto. de Física Aplicada: Raúl José Martín Palma

Depto. de Física de la Materia Condensada: Hermann Suderow

Depto. de Física Teórica de la Materia Condensada: Enrique Velasco

## 1.10. Objetivos del Curso / Objectives of the Course

### OBJETIVOS

1. Desarrollo de un trabajo individual que incluya actividades experimentales con técnicas avanzadas en algún campo de la Física, así como la planificación, búsqueda de información, diseño e implementación de un plan de trabajo, participación en montaje experimental o en el acceso directo a datos experimentales, análisis de resultados, comparación crítica con las teorías relevantes y la formulación de conclusiones.
2. Elaboración de una memoria y la presentación oral de los resultados más relevantes

### COMPETENCIAS

Autonomía del estudiante para llevar a cabo un trabajo en algún campo de la física, desde los aspectos experimentales hasta su presentación escrita y oral.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 1.12. Contenidos del Programa / Course Contents

El Trabajo de Fin de Grado (TFG) se estructura en dos bloques de 6 créditos cada uno. El primer bloque (TFG-EXP) se llevará a cabo en uno de los Departamentos con Laboratorios asociados que se relacionan a continuación, e implicará necesariamente actividades en las técnicas experimentales avanzadas que se detallan en cada laboratorio. Incluirá un mínimo de 60 horas presenciales en el laboratorio y una dedicación total del alumno de 150 horas. Las actividades de TFG-EXP desarrolladas en laboratorios de los Departamentos de Física en la Facultad de Ciencias se realizarán durante el primer semestre, y su evaluación tendrá lugar en la fecha correspondiente al final de dicho semestre. Las actividades de TFG-EXP que se desarrollen fuera del Campus de la UAM (p.ej., relacionadas con observaciones de astrofísica) y se realicen a lo largo del segundo semestre serán evaluadas en la fecha correspondiente al final del segundo semestre. Las actividades de TFG-EXP se realizarán en turno de mañana o tarde dependiendo del grupo de matrícula del alumno.

La asignación del Laboratorio en el que cada estudiante vaya a realizar su TFG-EXP se realizará en las primeras semanas del curso, atendiendo a las preferencias de cada estudiante, con el criterio de prioridad por la nota media obtenida del estudiante y dentro de los cupos establecidos por la Comisión del Grado de Física para cada Laboratorio. Los contenidos de los trabajos de la parte TFG-EXP se detallan en el Anexo 1.

El segundo bloque (TFG-TUT) es un trabajo tutelado que realizará el alumno individualmente, con la supervisión de un tutor, en alguno de los temas ofertados por los cinco Departamentos de Física de la UAM. Dicho tema puede ser o no del mismo campo en el que se haya realizado el TFG-EXP, y puede ser experimental, teórico, de simulación o incluir varios de estos aspectos. Esta fase del trabajo debe corresponder a una dedicación total de 150 horas del alumno. La lista de temas propuestos para el TFG-TUT se hará pública durante el principio del curso en la página Web del Grado de Físicas dentro de la Web de la Facultad de Ciencias (ver Anexo 2). Los Departamentos podrán facilitar a los estudiantes información adicional sobre los temas ofertados.

La asignación de tema y tutor para el TFG-TUT para cada estudiante se realizará en el primer semestre, atendiendo a las preferencias de cada estudiante, con el criterio de prioridad por la nota media obtenida del estudiante y dentro de los cupos establecidos por la Comisión del Grado de Física para cada Departamento.

El estudiante elaborará una memoria sobre su TFG y presentará oralmente los aspectos que le parezcan más relevantes. Tanto la memoria escrita como la presentación podrán realizarse en castellano o en inglés.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

En relación con los estudiantes que desarrollen el TFG en convenio de movilidad (Erasmus, SICUE...), éstos deberán escoger asignaturas en las cuales al menos un total de 6 créditos correspondan a Técnicas Experimentales Avanzadas. Éstas últimas deberán ser prácticas realizadas en el laboratorio o al menos usando datos reales. No se aceptará el uso de simulaciones. En la calificación final se tendrá en cuenta la evaluación del tutor de destino sin que esta evaluación implique su reconocimiento automático.

### 1.13. Referencias de Consulta Básica / **Recommended Reading**

Se aportarán en cada caso en función del trabajo a realizar.

## 2 Métodos Docentes / **Teaching Methods**

- **Actividades presenciales**

TFG-EXP implicara las horas presenciales indicadas en cada caso, con un mínimo de 60 horas presenciales en el laboratorio. Los calendarios y horarios dependerán de cada Laboratorio y del grupo de matriculación del alumno.

El alumno deberá participar en las actividades de evaluación del TFG-EXP y el TFG-TUT, así como en la presentación final de su TFG completo ante la comisión correspondiente.

- **Actividades dirigidas**

Los responsables del Laboratorio ofrecerán las oportunas tutorías para asistir al alumno en la elaboración de los resultados experimentales.

El tutor del alumno para el TFG-TUT dirigirá su trabajo con las pautas, procedimientos y horarios oportunos.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

### 3 **Tiempo Estimado de Trabajo del Estudiante / Estimated Workload for the Student**

El TFG-EXP corresponde a 150 horas de trabajo personal del estudiante, con un mínimo de 60 horas presenciales en el Laboratorio. El TFG-TUT corresponde a otras 150 horas de trabajo personal, incluyendo la elaboración de la memoria y su presentación oral.

### 4 **Métodos de Evaluación y Porcentaje en la Calificación Final / Assessment Methods and Percentage in the Final Marks**

Tanto en el TFG-EXP como en el TFG-TUT la evaluación tendrá en cuenta las diferentes actividades realizadas por parte del estudiante (50%), así como las memorias escritas y/o presentaciones correspondientes (50%).

La presentación final del TFG, previa entrega de la memoria del trabajo realizado, se realizará ante una comisión, nombrada por la Junta de Facultad a propuesta de la Comisión del Grado en Física. La calificación final tendrá en cuenta las evaluaciones razonadas del TFG-EXP hasta en un 40% de la nota final y las del TFG-TUT hasta en otro 40% de la nota final, siendo dicha comisión la responsable de la calificación final.

Habrà una convocatoria ordinaria (Mayo) y una convocatoria extraordinaria (Julio). En casos muy excepcionales, y con un informe favorable tanto de los tutores académicos del TFG como del coordinador de la asignatura, y previo visto bueno del Decanato del Centro, la convocatoria extraordinaria del TFG podrá tener lugar durante los primeros días de septiembre recogidos en el Calendario Académico de la UAM y aprobado por su Consejo de Gobierno.

En las convocatorias ordinaria y extraordinaria, el estudiante recibirá la calificación de "No Evaluado" si no se presenta a cualquiera de las tres evaluaciones asociadas al TFG-EXP, TFG-TUT, memoria y presentación final del TFG.

La puntuación obtenida en la evaluación continuada de la actividad en el laboratorio del TFG-EXP, se conservará para la convocatoria extraordinaria con su correspondiente porcentaje.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 5 Cronograma de Actividades (opcional) / Activities Chronogram (optional)

Al principio del curso el coordinador del TFG convocara a todos los estudiantes a una reunión con los responsables de los Laboratorios del TFG-EXP para informar sobre la organización y los contenidos de los mismos y con el fin de que los alumnos puedan elegir adecuadamente.

Posteriormente el coordinador del TFG elaborará y publicará la lista de los estudiantes asignados a cada Laboratorio, según sus preferencias, prioridad por nota y cupo de los Laboratorios. Se atenderán las posibles reclamaciones y se publicara la lista definitiva. A partir de ese momento, cada Laboratorio de TFG-EXP establecerá su propio calendario de trabajo y de evaluación. Las distintas actividades relacionadas con el TFG-EXP deberán estar finalizadas, salvos en los casos anteriormente mencionados como son observaciones de astrofísica, antes del comienzo del segundo semestre lectivo.

Antes del comienzo del curso cada Departamento de Física hará pública la lista de temas y tutores ofertados para el TFG-TUT. Cada Departamento podrá facilitar a los estudiantes cualquier información adicional sobre los temas de TFG-TUT ofertados.

Al principio del curso, el coordinador del TFG recabará de los estudiantes sus preferencias sobre tema y tutor para el TFG-TUT, elaborará y publicara la lista de asignaciones y atenderá las posibles reclamaciones.

Cada estudiante iniciará su trabajo con su tutor, preferentemente durante el segundo semestre, estableciendo entre ambos el procedimiento más adecuado para el desarrollo del tema de trabajo. Si fuese necesario, el coordinador del TFG mediará para resolver cualquier imprevisto o problema sobrevenido.

### Cronograma orientativo TFG curso 15-16:

<b>Primer semestre</b>	
Presentación TFG. Presentación TFG-EXP	Semana 1
Asignación de temas para TFG-EXP	Semana 3
Comienzo de actividades TFG-EXP	Semana 4
Asignación de temas para TFG-TUT	Semana 11/ Semana 12
Evaluación TFG-EXP	Período Evaluación (20 Enero 2016)
<b>Segundo semestre</b>	
Comienzo de actividades TFG-TUT	Semana 1
Entrega de memorias de TFG	Semana del 30 de mayo 2016
Defensa ante tribunales de TFG (conv. ordinaria)	Semana del 30 de mayo 2016



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## ANEXO 1 / ANNEX 1

### Temas propuestos para la parte TFG-EXP

#### 1) Laboratorios de TFG-EXP del Departamento de Física Aplicada

Coordinador: Raúl José Martín Palma

El Departamento de Física Aplicada ofrece un conjunto de prácticas para TFG-EXP que comprende las áreas de conocimiento de Física Aplicada y Electrónica. Los alumnos que escojan realizar la parte experimental de la asignatura “Trabajo Fin de Grado” en el Departamento de Física Aplicada realizarán una de las once prácticas que se exponen a continuación.

##### A) PRÁCTICAS EN FÍSICA DE MATERIALES (LABORATORIO DE MATERIALES):

###### 1) CRECIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE UNA LÁMINA DELGADA

El objetivo de la práctica es la deposición de un material de interés fotovoltaico (CdTe) en forma de lámina delgada (200 nm aprox.). Para ello se usará la técnica de la evaporación térmica en un equipo de alto vacío.

Con objeto de conocer cómo se acopla la absorción del material al espectro solar, se realizarán medidas de la absorbancia en función de la longitud de onda para determinar el band-gap óptico. Se estudiará como varía dicho band-gap en función de la temperatura de deposición.

Se estudiará asimismo la composición del material depositado mediante diversas técnicas de caracterización.

###### 2) CARACTERIZACIÓN DE CÉLULAS SOLARES: INFLUENCIA DEL MATERIAL ABSORBENTE Y LA TEMPERATURA.

Estudio y caracterización eléctrica de células solares fabricadas con diferentes materiales (silicio monocristalino, policristalino y amorfo). Influencia de la temperatura en el rendimiento. Estudio de la respuesta espectral. Deducción de los parámetros físicos a partir del ajuste de los datos experimentales mediante el modelo propuesto.

###### 3) FÍSICA DE RX

En esta práctica, se estudian detalladamente las propiedades físicas de los rayos X al interaccionar con la materia: la difracción por estructuras cristalinas y la absorción en general incluyendo la determinación de los bordes característicos de difracción de diferentes elementos. Una comprensión clara de los fenómenos que se estudiarán en la práctica supone una buena introducción a los fundamentos físicos que se emplean en técnicas de análisis de materiales muy sofisticadas como son: la fluorescencia de rayos X (XRF),



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

análisis dispersivo de rayos X generados por electrones (EDX), rayos X inducidos por partículas (PIXE) y difracción de rayos X (XRD)

Durante el desarrollo de la práctica se estudiarán los siguientes fenómenos:

- Dispersión de Bragg de rayos X. Obtención del espectro de emisión de rayos X de un ánodo de Cu. Líneas características  $K\alpha$  y  $K\beta$  del Cu en distintos órdenes de difracción.
- Determinación del cuanto de acción de Planck. Ley del desplazamiento de Duane-Hunt.
- Monocromatización de rayos X.
- Absorción de rayos X por diferentes materiales
- Bordes de absorción K y L. Ley de Moseley y determinación de la constante de Rydberg.
- Dispersión Compton de rayos X.

#### **4) CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN ENERGÍA TÉRMICA**

La energía solar térmica es la cuarta mayor fuente de energía renovable, por detrás de la biomasa, hidráulica y eólica. De forma muy sucinta, esta técnica consiste en la generación de energía térmica o eléctrica a partir de energía solar. Así, la energía se genera mediante la absorción de energía térmica procedente del sol a través de colectores solares. Dichos colectores incluyen un absorbedor que contiene un líquido portador que absorbe el calor y lo transporta hasta el punto de utilización. La superficie del absorbedor está diseñada para maximizar la absorción de radiación térmica solar. En esta práctica se estudiarán paso a paso los principios fundamentales relativos a la conversión de la radiación solar térmica en energía y se analizará el efecto de los diferentes componentes de un sistema completo en la eficiencia global del proceso.

#### **5) RECONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE FASES Y ESTUDIO DE LA MICROESTRUCTURA DE UNA ALEACIÓN BINARIA**

El objetivo de este trabajo es la reconstrucción de un diagrama de fases de una aleación binaria a través del análisis de curvas de enfriamiento. Los diagramas de fase son esenciales para entender los cambios de estructura y microestructura que ocurren en los sistemas binarios y ternarios al cambiar la temperatura. Para ello se prepararán aleaciones de Sn-Pb y/o de Cd-Sn, que cumplen las reglas de Hume-Rothery, con diferentes composiciones. Se observará al microscopio metalográfico la microestructura de las diferentes aleaciones fabricadas. Se compararán los resultados obtenidos con los diagramas extraídos de la bibliografía. Se caracterizarán las fases metalográficas formadas para las distintas composiciones. Por último, se analizará el punto eutéctico del diagrama de fase.

#### **B) PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA AVANZADA:**





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

#### **6) DISEÑO DE UN CONTROLADOR PID AUTOSINTONIZABLE BASADO EN MICROCONTROLADOR.**

Los controladores PID (Proporcional, Integral, Diferencial), se emplean en multitud de sistemas de laboratorio e industriales, como controladores de temperatura, presión, flujo, etc. Generan en tiempo real una señal de salida que depende de la historia (P+I+D) de la señal adquirida y de su set-point o punto de equilibrio deseado, permitiendo así controlar un sistema externo (calefactor de horno, válvula de fugas,...). El ajuste (sintonización) de las constantes de proporcionalidad de los 3 términos anteriores resulta crucial para la estabilidad del sistema, dependiendo en general del set-point elegido. El sistema deberá ser programable y autosintonizable.

#### **7) DISEÑO DE UN CONTADOR DE FOTONES PARA REALIZAR MEDIDAS DE LUMINISCENCIA Y DE LUMINISCENCIA RESUELTA EN TIEMPO.**

Los sistemas de conteo de fotones (o partículas ionizantes) se emplean en experimentos de fotoluminiscencia, espectrometría de masas (SIMS), etc. Permiten contar impulsos (integrar) durante un tiempo dado (seleccionable), obteniendo así la señal de frecuencia del evento en cuestión (fotones/segundo) que permite la adquisición de un espectro o experimento. Si el evento de conteo se genera con un cierto retraso (seleccionable) sobre una señal de disparo sincronizada con la excitación del experimento (pulso láser o de iones), puede obtenerse la dependencia temporal o de la relajación (luminiscencia resuelta en tiempo).

#### **8) DISEÑO DE UN HELIOSTATO**

El seguimiento solar es importante en sistemas de paneles solares para maximizar la generación energética. Se trata de orientar de forma continua un panel solar (o una sola célula en el laboratorio) perpendicularmente al Sol. Puede emplearse un método preestablecido basado en el alineamiento previo del sistema, sus coordenadas, el día y la hora, para realizar así un seguimiento basado en las correspondientes ecuaciones algebraicas. Otro posible método se basa en un seguimiento que emplee un método “variacional” que maximice la potencia o incluso una combinación de ambos.

Una ligera modificación del sistema permitiría el control de un telescopio.

#### **9) DETECCIÓN SÍNCRONA BASADA EN MICROCONTROLADOR**

En un laboratorio es frecuente el tener que realizar medidas de una señal eléctrica que contiene información sobre un proceso de interés (por ejemplo emisión de luz o generación de una corriente cuando sometemos a una muestra a unas ciertas condiciones experimentales), pero donde dicha señal contiene gran cantidad de ruido que enmascara la información de interés.

La técnica tradicional para realizar dichas medidas se ha basado en un amplificador lock-in, un complejo sistema electrónico que permite separar la



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

señal de interés del ruido. Se propone el diseño y realización de un sistema equivalente, pero bastante más simple basado en un microcontrolador.

### **10) ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS BASADA EN MICROCONTROLADOR**

La adquisición de datos en un laboratorio se hace habitualmente a través de un ordenador que comanda y recibe información a través de las interfaces de los diferentes instrumentos involucrados en el experimento.

Para comprender el esquema de bloques y la función asignada a cada unidad de un sistema se propone la realización práctica de un sistema de medidas eléctricas a través de un microcontrolador específico y varios componentes electrónicos sencillos.

### **11) DESARROLLO DE UN PIRÓMETRO ÓPTICO**

La temperatura de un cuerpo puede determinarse a partir del espectro de radiación térmica emitido (ley de Planck). Pueden escogerse varias estrategias: medida de la intensidad luminosa emitida en una longitud de onda (se necesita la corrección de la emisividad del material) o medida de la razón de las intensidades emitidas en dos longitudes de onda.

Se propone realizar un termómetro a distancia (pirómetro) a partir de un microordenador “Raspberry pi” y una cámara infrarroja que permita obtener un mapa 2-D de la temperatura.

**Método de evaluación:** La evaluación del trabajo en este Laboratorio de TFG-EXP se realizará mediante una evaluación continuada de la actividad en el laboratorio (75% de la nota) así como del informe correspondiente (25% de la nota). La presencia en el laboratorio y la entrega de los informes son obligatorias para aprobar



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 2) Laboratorios de TFG-EXP del Departamento de Física de Materiales

Coordinador: Pablo Molina

### Organización general:

Los alumnos realizarán de forma individual una de las prácticas que se enumeran a continuación. Los contenidos de las mismas tienen como denominador común los fenómenos de interacción radiación-materia en diferentes rangos espectrales. Buen número de prácticas abordan problemas relacionados con la optoelectrónica, la fotónica y el almacenamiento de energía.

Las prácticas se realizarán en los laboratorios docentes ubicados en las aulas 305-307 del módulo 04. El alumno dedicará 60 horas de trabajo presencial.

### Lista de prácticas:

#### 1. CRECIMIENTO DE MONOCRISTALES OPTICAMENTE ACTIVOS Y CARACTERIZACIÓN ÓPTICA.

Utilización de la técnica de Czochralski para el crecimiento de monocristales aislantes puros e impurificados con iones de transición ópticamente activos. Las etapas a seguir por el alumno son las siguientes: estudio del funcionamiento de hornos de resistencia y de los sistemas de control térmico anexos a utilizar; preparación de productos de partida; crecimiento de los cristales desde el fundido; estudio de la absorción óptica de los materiales preparados mediante la obtención de espectros a temperatura ambiente y temperatura de nitrógeno líquido; identificación del borde de absorción de los materiales; identificación de transiciones ópticas asociadas a niveles de impurezas activas; Efecto de las vibraciones de red en dichas transiciones.

#### 2. FORMACIÓN DE CENTROS DE COLOR EN CRISTALES AISLANTES. CARACTERIZACIÓN ÓPTICA.

En esta práctica se utilizará la técnica de coloración aditiva para la creación de centros de color en cristales de haluros alcalinos (electrones atrapados en vacantes aniónicas). Se hará uso de técnicas extendidas en física experimental tales como técnicas de vacío y gases, sistemas de control térmico, preparación de materiales,... Se analizarán y controlarán los parámetros que optimizan la concentración de centros de color en los cristales (presión  $N_2$ , masa metal, temperatura, tiempo). Se estudiará la



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

distribución de centros preparados en los cristales, así como la dinámica de agregación de los mismos mediante tratamientos térmicos. La caracterización se llevará a cabo mediante espectros de absorción óptica.

### **3. ESPECTROSCOPIA CON CAMPO MAGNÉTICO: EFECTO ZEEMAN.**

Estudio del desdoblamiento de líneas espectrales atómicas en presencia de campo magnético. Utilización de fenómenos de interferencia de ondas electromagnéticas visibles para visualización de dicho desdoblamiento (Interferómetro de Fabry-Perot). Análisis espectral de la emisión de gases para la observación de la cuantización de niveles de energía. Spin electrónico. Magneton de Bohr. Reglas de selección.

### **4. ESTUDIO DE UN CRISTAL LÍQUIDO COMO DISPOSITIVO ELECTRO-ÓPTICO.**

Caracterización de diferentes tipos de cristales líquidos mediante su respuesta óptica. Modulación de haces de luz mediante un cristal líquido utilizando campos eléctricos de baja frecuencia. Birrefringencia. Análisis de la tensión umbral de volteo de las moléculas en el cristal. Estudio de los tiempos de respuesta de las moléculas. Estudio de la transición de fase cristal líquido-sistema isótropo.

### **5.- CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACION DE LASERES DE ESTADO SÓLIDO BOMBEADOS POR LASER DE SEMICONDUCTOR**

i) Estudio de un diodo electroluminiscente (LED) y de un láser de semiconductor: Análisis de la inversión de población por inyección de corriente: Corriente umbral. Obtención de ganancia láser. Comparación espectral de la emisión LED y diodo láser. Sintonización de diodos láser con temperatura.

ii) Estudio de un láser de estado sólido: Obtención de los espectros de absorción óptica y fluorescencia de centros activos de  $\text{Nd}^{3+}$  en un material aislante: Identificación de niveles de energía.

Montaje de una cavidad láser usando como bombeo óptico un láser de diodo. Caracterización de la radiación láser: espectro láser, ganancia óptica, eficiencia y potencia umbral.

iii) Estudio de un láser de estado sólido autodoblado en frecuencia bajo bombeo con diodo láser. Utilización de cristales no lineales como matrices soporte para iones activos láser de Nd. Montaje de cavidad láser para generación simultánea de radiación láser en el infrarrojo cercano y en el visible mediante procesos no lineales de generación de armónicos. Eficiencia de la radiación auto-doblada y caracterización espectral de la misma.

### **6.- FUNDAMENTOS Y APLICACIONES EN ÓPTICA GUIADA**

Caracterización de fibras ópticas. Apertura numérica. Determinación de la atenuación. Fibras monomodo. Fibras multimodo. Análisis de los patrones de



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

irradiancia de modos linealmente polarizados. Estudio de fibras que preservan la polarización.

## **7.- ESTUDIO DE MATERIALES PARA ALMACENAMIENTO Y PROCESADO ÓPTICO: GRABADO DE REDES HOLOGRÁFICAS MEDIANTE EFECTO FOTORREFRACTIVO**

Detectores de luz: fotomultiplicadores, determinación del régimen lineal de trabajo. Longitud de coherencia en láseres de gas. Interferómetro de Michelson. Materiales no-lineales. Efecto fotorrefractivo. Grabado de redes holográficas en materiales fotorrefractivos. Análisis de las cinéticas de grabado y borrado de las redes grabadas.

## **8. EXPERIMENTOS CON RAYOS X**

Estudio de las características espectrales de la emisión de un tubo de rayos X (RX). Determinación del espectro continuo y discreto. Estudio de la absorción de RX por diferentes sustancias. Bordes K y L. Ley de Moseley. Monocromatización de rayos X. Utilización de RX para la determinación de de estructuras cristalinas: Diagramas de Laue.

## **9. ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO EN ESTADO SÓLIDO Y ESTUDIO DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE METAL-HIDRURO.**

El uso del hidrógeno como combustible requiere el desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno que sean seguros, eficientes, compactos y ligeros. Los hidruros metálicos se encuentran entre los sistemas más prometedores en este ámbito. La práctica está dirigida a investigar la termodinámica y la cinética de la reacción sólido-gas entre un metal y el hidrógeno para formar un hidruro metálico. El experimento se basa en el uso de un reactor volumétrico de tipo Sieverts para medir el número de moles de  $H_2$  en un volumen conocido a partir de las medidas de presión y temperatura y determinar su variación al poner en contacto el  $H_2$  con un metal. De este modo se pueden obtener las isothermas presión-composición que caracterizan la termodinámica de la transformación y calcular a partir de ellas las variaciones de entalpía y de entropía del proceso. Asimismo, el sistema permite estudiar la cinética de la transformación metal-hidruro, pudiendo obtenerse las energías de activación y los mecanismos de los procesos de formación y descomposición de un hidruro.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

### **3) Laboratorio de TFG-EXP del Departamento de Física de la Materia Condensada**

Coordinador: Hermann Suderow

#### **Objetivos generales del Laboratorio:**

Aproximación experimental a la Física de la Materia Condensada con especial énfasis en los fenómenos a bajas temperaturas (hasta 1 K) tales como la superconductividad y la superfluidez. Destreza en la utilización de técnicas experimentales habituales en Física de la Materia Condensada: alto vacío, criogenia y fabricación de nanoestructuras.

#### **Metodología**

Los alumnos realizarán de forma individual, o en grupos de dos, uno de los experimentos que se enumeran a continuación. Los experimentos se enmarcan dentro del área de Física de la Materia Condensada y están especialmente orientados hacia los fenómenos a temperaturas bajas (<4 K).

#### **Métodos docentes**

Los alumnos llevarán a cabo de forma individual, o en grupos de dos, uno de los experimentos propuestos. Realizarán el experimento bajo la supervisión de un tutor, diseñando la estrategia y resolviendo los aspectos concretos para alcanzar el resultado de la medida experimental. El tutor guía el análisis científico y la presentación de los resultados experimentales.

### **Contenidos (experimentos propuestos)**

#### **1.- Espectroscopia de efecto túnel entre superconductores.**

Se fabrican películas delgadas de plomo/aluminio separadas por una fina barrera túnel. Medida de la curva característica de conductancia eléctrica a bajas temperaturas (1.5 K). Determinación del espectro de energías en el estado superconductor.

#### **2.- Propagación de ondas de entropía en el helio en el estado superfluido.**

Transición del helio líquido al estado superfluido a bajas temperaturas (2.17 K). Determinación de la velocidad de propagación de ondas de entropía mediante medidas de tiempo de vuelo y generación de ondas estacionarias.

#### **3.- Propiedades electrónicas de los superconductores de alta temperatura crítica.**



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

Medidas de la transición al estado superconductor de materiales cerámicos (YBaCuO) a temperaturas entre 77 K y 100 K. Régimen de resistencia eléctrica nula. Efecto del campo magnético, levitación y efecto Meissner.

**4.- Estudio mediante microscopía de fuerzas atómicas de cristales bidimensionales de espesor atómico.**

Fabricación de cristales bidimensionales de espesor atómico, tales como grafeno y disulfuro de molibdeno. Estudio de sus propiedades ópticas y electrónicas.

**5.- Caracterización de la deformación piezoeléctrica de cerámicas ferroeléctricas.**

Medida ultra-precisa, con resolución inferior a 0.1 nm, a temperatura de nitrógeno líquido (77 K), de la deformación de las cerámicas bajo el efecto de campos eléctricos intensos.

**6.-Estudio experimental de la transición de fase al estado superconductor.**

Caracterización de la transición a bajas temperaturas (4.2 K), a partir de medidas de capacidad calorífica, en metales o aleaciones binarias superconductoras.

**7.- Síntesis y caracterización de monocristales superconductores.**

Crecimiento de monocristales de compuestos superconductores. Caracterización mediante medidas de susceptibilidad magnética y otras técnicas de bajas temperaturas.

**8.- Calorimetría mediante un refrigerador de Stirling.**

Estudio de la transición ferroeléctrica en KDP utilizando un refrigerador de Stirling miniatura.

**9.- Estudio de la superfluidez mediante el experimento de Andronikashvili.**

Determinación de la fracción del condensado superfluido en helio líquido mediante un péndulo de torsión.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

#### 4) Laboratorio de TFG-EXP del Departamento de Física Teórica

Coordinador: **Carlos Eiroa**

Organización general:

El Departamento de Física Teórica ofrece un conjunto de prácticas para TFG-EXP que se extiende a las áreas de investigación cubiertas por sus profesores. Cada año pueden cambiar las prácticas que se ofertan. El objetivo de todas ellas es la familiarización del estudiante con el análisis y tratamiento de datos experimentales en las distintas áreas, respetando las distintas peculiaridades. En este sentido, se hace notar que en la física actual de altas energías se realizan experimentos llevados a cabo por grandes consorcios, estructurados en equipos encargados de hacer el análisis y tratamiento de datos parciales, sin que necesariamente se encuentren localizados físicamente en el lugar de toma de datos.

Las prácticas que se ofertan en el presente año académico son LHC y Astrofísica. Una breve descripción de sus contenidos se expone a continuación.

Contenidos:

##### 1. Practicas LHC (Juan Terrón, Claudia Glasman).

El estudiante trabajará con las herramientas usadas para el tratamiento de los datos en los grandes detectores ATLAS y CMS en el acelerador LHC, tales como n-tuplas, tratamiento estadístico (ROOT) y monitor de sucesos ("event display"), así como de la identificación y medida de los objetos observables, leptones, jets y fotones, para llevar a cabo un estudio experimental específico de un proceso. Se consideraran, entre otros, la producción del bosón Z en el canal de desintegración en una pareja electrón-positrón, la búsqueda del bosón de Higgs en el canal de desintegración en cuatro leptones cargados o la búsqueda de supersimetría en estados finales con varios jets y momento transversal perdido. Se espera que el estudiante sea capaz de seleccionar una muestra de sucesos candidatos al proceso concreto tanto en los datos provenientes de colisiones en el LHC como en simulaciones con técnicas Monte Carlo, así como la extracción de los resultados físicos pertinentes, tales como la medida de la sección eficaz, la significancia del exceso observado o la exclusión de un modelo.

##### 2. Astrofísica (Carlos Eiroa)





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

El estudiante se familiarizará con las técnicas más comunes de observación en astrofísica: espectroscopía y fotometría en el óptico, el tratamiento y el análisis de datos.

Las prácticas están basadas en los datos obtenidos directamente por el estudiante a partir de observaciones astronómicas realizadas en el Observatorio de Calar Alto (Almería). Dichos datos se basarán en un proyecto científico elaborado por el alumno, para lo que tendrá que realizar una propuesta de observación de los objetos celestes seleccionados (estrellas, galaxias, etc.) justificando el caso científico y el modo de observación elegido. Dicha propuesta será en todo análoga a la que realizan los astrónomos profesionales. Una vez obtenidos los datos de los objetos observados, se procederá a su reducción, análisis e interpretación utilizando herramientas profesionales de software astronómico de tratamiento de datos. Los resultados finales se tendrán que plasmar en una memoria. En todo el proceso el estudiante tendrá que desplegar una gran iniciativa propia.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 5) Laboratorios de TFG-EXP del Departamento de Física Teórica de la Materia Condensada

Coordinador: Enrique Velasco.

### Organización general:

Las prácticas se llevarán a cabo en el aula 402.6, equipada con equipos informáticos y exclusivamente destinada al desarrollo de los trabajos. Cada alumno elegirá una práctica de las seis propuestas (ver más abajo en *Contenidos*), que será desarrollada bajo la dirección del profesor responsable, que le facilitará material y asistencia. El alumno deberá asistir al aula en los días y horarios establecidos por el coordinador hasta completar 60 horas, y preparar un informe final de su trabajo una vez completada su estancia en el aula.

### Método de evaluación:

La evaluación del trabajo del alumno se realizará mediante una estimación continuada de la calidad de su actividad por parte del profesor responsable (que aportará el 60% de la nota y en la que se valorará la capacidad, iniciativa y originalidad del trabajo del alumno), y el informe que deberá confeccionar y entregar el alumno en el plazo acordado (que aportará el 40% restante).

### Contenidos:

#### 1. Análisis y simulación de medios granulares (Enrique Velasco)

A partir de imágenes digitales obtenidas en un experimento real de monocapas vibradas formadas por partículas cilíndricas inelásticas (imágenes obtenidas en el laboratorio de medios granulares de la UAM), se realizará un análisis de imagen, basado en el programa *Jmol*, para obtener las configuraciones de las partículas (posición, orientación y velocidad) y calcular sus propiedades dinámicas, funciones de correlación, parámetros de orden posicional y orientacional, propiedades de las fluctuaciones estadísticas y leyes de escala. Este análisis se complementará con simulaciones de dinámica molecular sobre partículas rectangulares inelásticas, partes de cuyo código el alumno deberá desarrollar.

#### 2. Elasticidad de filamentos biológicos (Pedro Tarazona)

Utilizando representaciones de filamentos de proteínas mediante modelos mecánicos de unidades de interacción esféricas conectadas



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

formando cadenas y con interacciones efectivas, el alumno realizará un análisis de la curvatura y la elasticidad de estos filamentos de proteínas y de ácidos nucleicos a partir de imágenes experimentales obtenidas mediante técnicas de Atomic Force Microscopy en el laboratorio de M. Vélez (CSIC). El alumno utilizará programas ya desarrollados para la medición de parámetros sobre las imágenes digitalizadas, y tendrá que escribir algunos códigos sencillos para el análisis y caracterización estadística de las medidas.

### 3. Hidrodinámica de moléculas complejas: polímeros estrella y ADN (Giorgio Cinacchi y Rafael Delgado)

El alumno analizará propiedades como la viscosidad y el orden molecular en sistemas experimentales de virus (mosaico del tabaco y fd), soluciones de polinucleótidos y polipéptidos y de partículas coloidales tales como barras de boehmita y de sílice. Utilizará modelos de líquidos complejos y sus propiedades de fase e hidrodinámicas, estudiando el orden molecular y el movimiento coordinado (hidrodinámica) de líquidos formados por polímeros y moléculas helicoidales como el ADN. El alumno usará programas de dinámica molecular y de dinámica de Monte Carlo, así como un código hidrodinámico.

### 4. Simulación computacional de materiales a escala atómica y nanométrica (José Ortega, Rubén Pérez y Alfredo Levy)

El objetivo de ésta práctica es que el alumno aprenda a analizar y extraer información de experimentos como STM, AFM, etc sobre la estructura electrónica e iónica de moléculas, sólidos, superficies y sistemas de dimensiones. Para ello se requieren diversas técnicas computacionales para el cálculo de la estructura electrónica y la determinación de la estructura. Los estudiantes desarrollarán sus propios programas complementados en su caso con paquetes de cálculo más sofisticados para obtener información de resultados con datos experimentales existentes.

### 5. Nanofotónica (Jorge Bravo y Antonio Fernández)

El alumno realizará un análisis de resultados experimentales de la interacción luz-materia en la nanoescala, interpretando teóricamente estos los empíricos con especial énfasis en la verificación de la capacidad predictiva de la electrodinámica (tanto clásica como cuántica) en el mundo nanométrico. Se considerará una variedad de experimentos punteros, realizados muy recientemente. El alumno aprenderá a usar el programa *Comsol Multiphysics* (software comercial que implementa las ecuaciones clásicas de Maxwell) como herramienta para la interpretación



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

y el análisis teórico de los resultados experimentales. Finalizada esta sesión, los estudiantes serán asignados a los distintos ejercicios prácticos.

**6. Análisis de experimentos de interacción luz-materia en microcavidades (Elena del Valle y Fabrice Laussy)**

El alumno estudiará los experimentos de dinámica polaritónica que se realizan en el laboratorio de D. Sanvitto en Lecce (Italia). Además de familiarizarse con los experimentos y analizarlos, se hará un repaso de las teorías y modelos que describen la física polaritónica, los cuales involucran aprender técnicas de óptica cuántica como la ecuación maestra de sistemas abiertos, ya que los polaritones son emitidos al exterior de la cavidad, sufren decoherencia ambiental y son excitados con láseres externos.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## ANEXO 2 / ANNEX 2

### Temas propuestos para la parte TFG-TUT

(Esta lista de temas es provisional. La definitiva se hará pública a comienzos de curso en la página Web del Grado de Física)

#### 1. Departamento de Física Aplicada

Coordinador: Juan Piqueras. [juan.piqueras@uam.es](mailto:juan.piqueras@uam.es)

##### 1.1 CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA Y ÓPTICA DE UNA LÁMINA DELGADA CRECIDA POR MAGNETRÓN SPUTTERING RF

Tutor: **Alejandro Gutiérrez Delgado**

E-mail: [a.gutierrez@uam.es](mailto:a.gutierrez@uam.es)

Página web: <http://www.fa.uam.es/investigacion/lrn>

Este trabajo consiste en el crecimiento de una lámina delgada crecida mediante métodos físicos y su posterior caracterización eléctrica y óptica. La caracterización eléctrica incluye medidas de resistividad y de efecto Hall, con variación de la temperatura. Las medidas ópticas incluyen transmitancia y absorbancia en el visible-UV. El objetivo del trabajo es relacionar los parámetros de crecimiento con los resultados de la caracterización. El estudiante debe utilizar sus conocimientos en varias asignaturas básicas de Grado para comprender los procesos implicados en el trabajo, incluyendo Física del Estado Sólido (crecimiento de la lámina delgada, comportamiento eléctrico, etc), Óptica (caracterización óptica), etc. Por otro lado, deberá enfrentarse al manejo de los equipos experimentales necesarios, obtener los resultados experimentales y sea capaz de extraer conclusiones de los mismos.

##### 1.2. SIMULACIÓN MEDIANTE MÉTODOS DE MONTE CARLO DEL CRECIMIENTO DE UNA LÁMINA DELGADA

Tutor: **Alejandro Gutiérrez Delgado**

E-mail: [a.gutierrez@uam.es](mailto:a.gutierrez@uam.es)

Página web: <http://www.fa.uam.es/investigacion/lrn>

Este trabajo está especialmente dirigido a los estudiantes que hayan cursado la asignatura de Computación Avanzada. Se trata de aplicar los conocimientos adquiridos en esta asignatura para simular mediante métodos de Monte Carlo las primeras etapas de crecimiento de una lámina delgada sobre un sustrato. Se trabajarán distintos parámetros, como la temperatura o la interacción de la lámina con el sustrato, con el fin de reproducir diferentes comportamientos observados experimentalmente en sistemas reales. Además de la experiencia del estudiante en Computación Avanzada, le serán útiles los conocimientos adquiridos en Física del Estado Sólido y Física Estadística.

##### 1.3. GUÍAS Y TRAMPAS CELULARES: DISEÑO, FABRICACIÓN Y SIMULACIÓN

Tutor: **Miguel Manso Silván**

E-mail: [miguel.manso@uam.es](mailto:miguel.manso@uam.es)



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

Página web: <http://www.fa.uam.es/investigacion/bag>

El movimiento de células sobre superficies obedece a modelos clásicos de distribución. Estos modelos sufren variaciones paramétricas cuando las superficies no son homogéneas. En el presente trabajo se ofrece a un alumno atraído por la Biofísica una introducción al movimiento celular en micropatrones superficiales. Los modelos mediante saltos aleatorios se compararán con cultivos reales obtenidos mediante distintas técnicas físicas. Las actividades del alumno alternarán el trabajo en los modelos como en experimentos de fabricación de microestructuras.

#### **1.4. CÉLULAS SOLARES MULTIUNIÓN.**

Tutor: **Alejandro Braña de Cal y Basilio Javier García Carretero**

E-mail: [alejandrob.ana@uam.es](mailto:alejandrob.ana@uam.es); [basilio.javier.garcia@uam.es](mailto:basilio.javier.garcia@uam.es)

Página web: <http://www.fa.uam.es/investigacion/microelectronica>

Fabricación y caracterización de células solares de alta eficiencia basadas en multicapas de semiconductores III-V. La eficiencia de conversión fotovoltaica está determinada y limitada por el gap del semiconductor que forma la unión p-n (región activa donde se absorben los fotones). En el caso de emplearse estructuras multiunión con materiales de diferentes gaps, puede mejorarse la eficiencia debido a la absorción selectiva de las diferentes regiones del espectro solar.

#### **1.5. CÉLULAS SOLARES DE BANDA INTERMEDIA.**

Tutor: **Nair López Martínez y Basilio Javier García Carretero**

E-mail: [nair.lopez@uam.es](mailto:nair.lopez@uam.es); [basilio.javier.garcia@uam.es](mailto:basilio.javier.garcia@uam.es)

Página web: <http://www.fa.uam.es/investigacion/microelectronica>

Fabricación y caracterización de células solares de alta eficiencia basadas en semiconductores III-V con banda intermedia (GaAsN). El empleo de materiales semiconductores con banda intermedia puede permitir la absorción sucesiva de dos fotones, generando así portadores de mayor energía, lo que se traduce en un mayor voltaje de la célula en circuito abierto y por tanto una mejora en el rendimiento de las células fotovoltaicas.

#### **1.6. CRECIMIENTO MEDIANTE CAÑÓN DE ELECTRONES DE MATERIALES TECNOLÓGICOS PARA APLICACIONES OPTOELECTRÓNICAS**

Tutores: **Vicente Torres Costa y Darío Gallach Pérez**

E-mail: [vicente.torres@uam.es](mailto:vicente.torres@uam.es), [dario.gallach@uam.es](mailto:dario.gallach@uam.es)

Página web: <http://www.fa.uam.es/investigacion/bag>

Bajo las condiciones adecuadas, el ZnO (óxido de zinc) es un semiconductor transparente que presenta una alta conductividad, por lo que es utilizado ampliamente en diversos dispositivos optoelectrónicos como LEDs, fotodetectores o pantallas LCD, entre otros. El objetivo de este trabajo es el crecimiento y caracterización de láminas de ZnO mediante la técnica de evaporación por cañón de electrones, una alternativa más sencilla y rápida que la utilizada habitualmente por la industria (pulverización catódica en atmósfera de oxígeno).

El trabajo consistirá en estudiar la influencia de los distintos parámetros de crecimiento (temperatura del sustrato, corriente de descarga, post-tratamiento) en las propiedades físico-químicas del material obtenido (conductividad eléctrica, propiedades ópticas, cristalinidad y composición, entre otros).

Para el crecimiento de las capas de ZnO se utilizará un sistema de evaporación por cañón de electrones de 10KV y un sistema de procesamiento térmico rápido (RTP) en atmósfera controlada. La caracterización del material se llevará a cabo mediante técnicas de microscopía electrónica, difracción de rayos X, espectrofotometría, medidas eléctricas de 4 puntas (Van der Pauw) y análisis composicional mediante RBS (espectroscopía Rutherford).



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

### **1.7. DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE CÉLULAS SOLARES DE SILICIO CON RECUBRIMIENTOS DE COMPUESTOS DE ZN**

Tutor: **Alejandro Braña de Cal**

E-mail: [alejandrob. brana@uam.es](mailto:alejandrob. brana@uam.es)

Página web: <http://www.f.a.uam.es/investigacion/microelectronica>

Este trabajo consiste en la caracterización de células solares utilizando compuestos de Zn (Al,O,N) como capas activas y como contactos transparentes, lo cual permitiría la absorción de luz a la vez que se recogen los electrones en la misma capa activa. Se probarán distintos sustratos de Si y distintos diseños de células. La obtención de las características eléctricas se llevará a cabo realizando medidas de corriente voltaje (I-V) y de espectroscopía de impedancias con medidas de capacidad, voltaje y frecuencia. (C-V-f). Ambas medidas se llevarán a cabo en condiciones de oscuridad y de iluminación haciendo uso del simulador solar (cell tester).

### **1.8. RECUBRIMIENTOS ÓPTICOS TRANSPARENTES Y FUNCIONALES**

Tutor: **Raúl José Martín Palma**

E-mail: [rauljose.martin@uam.es](mailto:rauljose.martin@uam.es)

Página web: <http://www.f.a.uam.es/investigacion/bag>

El objetivo del trabajo propuesto es la fabricación de recubrimientos ópticos selectivos, de forma que sean transparentes en el intervalo visible de longitudes de onda y, al mismo tiempo, proporcionen una alta reflectancia en regiones determinadas de los intervalos infrarrojo y/o ultravioleta. De esta forma, en una primera etapa se realizarán los cálculos computacionales necesarios para determinar las propiedades de las películas (constantes ópticas y espesor). En una segunda etapa se fabricarán las películas por evaporación mediante cañón de electrones y se analizarán de forma experimental sus propiedades ópticas.

### **1.9. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS CON ESTRUCTURA CORE-SHELL**

Tutor: **Óscar Bomati Miguel**

E-mail: [oscar.bomati@uam.es](mailto:oscar.bomati@uam.es)

Página web: <http://www.f.a.uam.es/investigacion/lrn>

De entre los tipos de fármacos que actualmente están siendo investigados en la industria farmacológica, uno de los que suscita un mayor interés son aquellos que integren en su estructura diferentes entidades nanométricas con las adecuadas funcionalidades químicas, físicas y biológicas para su uso en medicina. En este proyecto se abordará la fabricación de nanopartículas multifuncionales que fusionen en su arquitectura diferentes emisores que emitan en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. Este trabajo se divide en dos fases: en una primera fase se abordará la síntesis de las dispersiones coloidales de nanopartículas multifuncionales; en una segunda fase se llevará a cabo la caracterización físico-química de las nanopartículas sintetizadas mediante las técnicas de rayos-X y microscopía electrónica de transmisión, espectroscopia infrarroja y espectroscopia de Fotoelectrones emitidos por Rayos X (XPS).

### **1.10. INTEGRACIÓN DE MATERIALES UNIDIMENSIONALES (NANOHILOS METÁLICOS Y SEMICONDUCTORES) Y BIDIMENSIONALES (GRAFENO Y MOLIBDENITA) EN SENSORES DE EFECTO CAMPO**

Tutores: **José Luis Pau Vizcaíno y Andrés Redondo Cubero**

E-mail: [joseluis.pau@uam.es](mailto:joseluis.pau@uam.es), [andres.redondo@uam.es](mailto:andres.redondo@uam.es)

Página web: <http://www.f.a.uam.es/investigacion/microelectronica>

El término dielectroforesis se aplica al efecto que tienen los campos eléctricos no uniformes sobre materiales dieléctricos. Bajo las condiciones adecuadas, las partículas experimentan, en





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

esos campos, una fuerte interacción proporcional a la polarizabilidad de las mismas. En el presente trabajo se aplicará el uso de dichas interacciones en la integración de materiales unidimensionales (nanohilos metálicos y semiconductores) y bidimensionales (grafeno y molibdenita) en sensores de efecto campo. Con ello, se busca avanzar hacia la optimización de la sensibilidad y la mejora del grado de miniaturización con el fin de incorporar este tipo de sensores a sistemas electrónicos portátiles.

### **1.11. CRECIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE NANOMATERIALES FUNCIONALES**

Tutores: **Manuel Hernández Vélez**

E-mail: manuel.hernandez@uam.es

Página web: <http://www.fu.uam.es/miembro/manuel-hernandez-valez>

Los Nanomateriales Funcionales han absorbido la atención no sólo de innumerables grupos de investigación sino también de muy importantes empresas focalizadas hacia campos tan Disímiles como: Nuevas fuentes de Energía, Almacenamiento magnético de información, Purificación de aguas, etc. En este trabajo se pretende que el estudiante aprenda a fabricar y caracterizar nanomateriales en base a Alúmina Nanoporosa y Óxido de Zinc nanoestructurado crecidos por diferentes métodos físico-químicos potencialmente para las aplicaciones en las antes mencionadas y otras aplicaciones de gran actualidad científica e industrial.

### **1.12. Focalización de haces de iones pesados con altas energías en la línea de microhaz interno del CMAM**

Tutores: M<sup>a</sup> Dolores Ynsa Alcalá (m.ynsa@uam.es), Miguel Ángel Ramos Ruiz (miguel.ramos@uam.es)

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la focalización de diversos iones pesado (boro, carbono, oxígeno...) en la línea de microhaz interno del Centro de Microanálisis de Materiales (CMAM, [www.cmam.uam.es](http://www.cmam.uam.es)).

Entre las líneas experimentales de trabajo del CMAM está la línea de microhaz interno. En esta línea se puede trabajar con un haz de partículas focalizado con dimensiones del orden de la micra o incluso menores, que se puede barrer sobre la muestra de forma controlada para realizar daño controlado y crear micro o nano estructuras o para realizar análisis multielementales. El sistema del CMAM cuenta con dos conjuntos de diafragmas (objeto y colimador) y cinco lentes cuadrupolares magnéticas, para focalizar el haz de iones. Mientras que para realizar el barrido del haz, dispone de un doble deflector magnético (plano X-Y).

Hasta el momento el haz más empleado en esta línea es el haz de protones. Sin embargo, resultaría de interés estudiar la capacidad de focalización y de barrido del sistema del CMAM para nuevos haces de iones, como por ejemplo carbono.

El trabajo se ejecutará en las instalaciones del CMAM utilizando los recursos del centro y con experimentos reales.





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 2. Departamento de Física de Materiales

Coordinador: Ginés Lifante. gines.lifante@uam.es

### **2.1. Tutor: Daniel Jaque García**

#### **Título: Obtención de imágenes térmicas mediante el uso de nano-partículas luminiscentes e imagen hiper-espectral**

**Resumen:** Se plantea en este proyecto el diseño y realización de nuevos sistemas ópticos basados en cámaras hiper-espectrales para la obtención de imágenes térmicas de alta resolución basadas en nano-partículas luminiscentes. El proyecto incluye estudios de caracterización básica de las partículas luminiscentes así como la implementación de nuevos sistemas experimentales que permitan la adquisición de imágenes hiper-espectrales.

### **2.2. Tutor: José García Solé**

#### **Título: Síntesis y caracterización de de nanopartículas activadas con tierras raras para terapia fototérmica controlada**

**Resumen:** Se pretende al estudiante que aprenda a sintetizar nano-cristales con concentraciones elevadas de iones de tierras raras (fundamentalmente iones  $\text{Nd}^{3+}$ ) y a caracterizar sus propiedades ópticas (absorción y luminiscencia), a fin de investigar la viabilidad de utilizar dichas nanopartículas como nano-vehículos luminiscentes (y por tanto sondas para bioimagen) que liberan calor al ser iluminados con luz infrarroja apropiada.

### **2.3. Tutores: Carmen Aragó y Manuel Marqués**

#### **Título: Modelización de datos experimentales en ferroeléctricos relaxores: SBN: 75 y SBN:61**

**Resumen:**

### **2.4. Tutores: Angel García-Cabañes y Mercedes Carrascosa**

#### **Título: Manipulación y estructuración de micro- y nano-partículas mediante pinzas fotovoltáicas e irradiación iónica.**

**Resumen:** El trabajo consistirá en el uso de la técnica conocida como pinzas fotovoltáicas para la manipulación de micro y nanoobjetos, un aspecto clave en campos hoy muy activos como la nanotecnología o la biomedicina. La técnica está basada en las intensas fuerzas eléctricas inducidas por patrones luminosos por efecto fotovoltáico en la superficie de sustratos ferroeléctricos. En el trabajo propuesto se obtendrán estructuras uni y bidimensionales de nanopartículas sobre sustratos ferroeléctricos usando distintas configuraciones y evaluando la flexibilidad de esta técnica comparada con otras más convencionales. Los sustratos ferroeléctricos sobre los que se depositan las partículas podrán estar previamente modificados por irradiación iónica (en el acelerador de iones de la UAM) para mejorar la eficiencia y ampliar las posibilidades de la técnica.

### **2.5. Tutor: José Ramón Ares**

#### **Título: Procesos de hidrogenación y deuteración en nanopartículas de metales.**

**Resumen:** Metales como el paladio, níquel o titanio son utilizados habitualmente como catalizadores de las reacciones de disociación /recombinación de la molécula/átomo de hidrógeno que ocurren en la superficie del metal. Conocer en detalle las propiedades cinéticas y termodinámicas de estas reacciones es fundamental a la hora de elegir compuestos que puedan acumular grandes cantidades de hidrógeno a temperaturas y presiones moderadas. En este trabajo se investigará fundamentalmente la influencia de la estructura nanocristalina en la reacción de hidrogenación. Para ello se propone preparar nanopartículas de un metal (en



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

principio paladio, níquel o titanio) y caracterizarlas mediante, técnicas de absorción y desorción de  $H_2$  y  $D_2$  a alta presión, espectrometría de masas, difracción de rayos X y microscopía electrónica.

## **2.6. Título: Crecimiento de monocristales óxidos con aplicaciones optoelectrónicas**

**Tutor: José Luis Plaza**

**Resumen:** En este trabajo el alumno estará directamente involucrado en experimentos y estudio teórico de los procesos de crecimiento a partir de un fundido dirigidos al estudio y fabricación de monocristales de interés en óptoelectrónica, aplicaciones láser y como centelleadores tales como  $LiNbO_3$ ,  $ZnWO_4$  o  $Bi_2B_4O_7$ . Los experimentos se realizarán en el Laboratorio de Crecimiento de Cristales del Departamento de Física de Materiales.

## **2.7. Título: Tomografía de estados confinados de polaritones en microcavidades semiconductoras unidimensionales**

**Tutor: Luis Viña Liste**

**Resumen:** El estudiante se familiarizará con el uso de técnicas espectroscópicas ópticas, empleando láseres sintonizables de muy alta resolución espectral (láser de Ti-Zafiro con cavidad en anillo, anchura línea 75 kHz), para el estudio de la emisión de luz por polaritones en microcavidades. En particular realizará estudios tomográficos para determinar la distribución, en el espacio real y en el espacio de momentos, de polaritones (cuasi-partículas formadas por excitones y fotones) en microcavidades cuánticas de semiconductores unidimensionales.

## **2.8. Título: Condensados de Bose-Einstein en nano - estructuras de semiconductores.**

**Tutores: M. Dolores Martín Fernández; Luis Viña Liste.**

**Resumen:** Se llevará a cabo el estudio de las propiedades ópticas de Condensados de Bose-Einstein (BEC) obtenidos en micro-cavidades de semiconductor. En estas nano-estructuras la fuerte interacción entre la luz y la materia resulta en la formación de polaritones, unas nuevas cuasi-partículas cuyas características hacen de ellos uno de los mejores candidatos para estudiar los BEC en Materia Condensada. Para este estudio se utilizarán láseres de alta potencia, tanto de emisión continua como pulsada, y técnicas espectroscópicas de alta resolución espacial y temporal para estudiar interesantes fenómenos asociados con los BEC, tales como la coherencia de fase, la superfluidez, etc. Igualmente, se utilizarán las herramientas informáticas adecuadas para el tratamiento y análisis de los resultados experimentales.

## **2.9. Título: Nanoestructuración de superficies de cristales de SiC**

**Tutor: Luis Arizmendi**

**Resumen:** El semiconductor SiC posee unas características idóneas para aplicaciones fotónicas entre las que destacan las células fotovoltaicas y los diodos electroluminiscentes (LED), siendo un competidor aventajado del silicio. En estas aplicaciones se pretende obtener la máxima eficiencia de conversión de energía, para lo que se estudian diversas estrategias. En particular la nanoestructuración de la superficie puede dar lugar a una fuerte reducción de la reflectividad del material, aumentando la eficiencia de los dispositivos fotónicos. El trabajo consistirá en una parte de estudio bibliográfico de los diferentes métodos que pueden emplearse para la nanoestructuración de las superficies de SiC. Una segunda parte consistirá en la participación en la caracterización de la nanoestructuración de superficies de SiC mediante bombardeo iónico.

## **2.10. Título: Fotoluminiscencia de puntos cuánticos de semiconductores**

**Tutor: Herko van der Meulen**

**Resumen:** Este trabajo consistirá en el estudio de la luminiscencia de nanoestructuras de semiconductores. Estos sistemas pueden emitir fotones individuales y sus propiedades se estudiarán con técnicas de correlación de fotones. El trabajo es experimental involucrando



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

espectroscopía óptica de alta resolución, sistemas de recuento de fotones, bajas temperaturas y vacío.

### **2.11 Título: Fabricación y caracterización de miniláseres**

**Tutor: Ginés Lifante Pedrola**

**Resumen:** Este proyecto contempla el modelado, fabricación y caracterización de láseres integrados en guías de onda sobre sustratos dieléctricos, activados con iones de tierras raras. Estos dispositivos, de dimensiones transversales de unas pocas micras, poseen un bajo umbral de oscilación y una alta eficiencia. El estudiante se familiarizará con las técnicas de fabricación de guías de onda óptica, así como con las técnicas de caracterización propias de dispositivos fotónicos integrados. Paralelamente, el estudiante dispondrá de herramientas de simulación numérica que permiten modelar los dispositivos fabricados.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

### 3. Departamento de Física de la Materia Condensada

Coordinador: Enrique García Michel y Pilar Segovia: pilar.segovia@uam.es

#### 3.1.- Estudio de superficies de grafeno mediante microscopía de efecto túnel en ultra-alto vacío (tutor: José María Gómez Rodríguez).

El tema propuesto consiste en una primera toma de contacto con el estudio experimental de superficies de grafeno. El grafeno es un material puramente bidimensional que ha despertado recientemente un enorme interés debido a sus especiales propiedades electrónicas tales como la alta movilidad de sus portadores de carga o los fenómenos cuánticos relativistas que presenta (Premio Nobel de Física 2010: K. Novoselov y A. Geim). En el trabajo propuesto el alumno se familiarizará con algunos aspectos del crecimiento de grafeno sobre metales en ambientes de ultra-alto vacío (esto es, a presiones de  $10^{-10}$  Torr) y en su caracterización a la escala atómica mediante microscopía de efecto túnel.

#### 3.2.- Estudio de la entropía residual a cero kelvin en vidrios moleculares (tutor: Miguel Ángel Ramos).

Tras realizar un breve estudio bibliográfico sobre el controvertido tema de si los vidrios (sólidos no cristalinos) cumplen la 3ª Ley de la Termodinámica, se emplearán datos experimentales de calor específico de distintos vidrios moleculares (de la literatura y/o medidos en nuestros laboratorios) para calcular las curvas de entropía hasta el cero absoluto.

#### 3.3.- Dinámica magnética a nanoescala (tutor: Farkhad Aliev/Antonio Lara)

En el marco del trabajo propuesto el alumno se familiarizará con los conceptos básicos, métodos de medida y de simulación de dinámica magnética en nanoestructuras magnéticas hasta decenas de GHz. El alumno aprenderá a estudiar la dinámica magnética de nano-imanés como discos o triángulos usando un sistema experimental basado en un analizador vectorial de redes AGILENT, así como a realizar simulaciones micromagnéticas.

#### 3.4.- Ciencia y tecnología de altos campos magnéticos (tutor: Isabel Guillamón/Hermann Suderow)

Se trabajará en un entorno de colaboración internacional (EMFL, [www.emfl.eu](http://www.emfl.eu)), con objeto de iniciarse en la ciencia y tecnología de altos campos magnéticos, enfocada, por primera vez, a la microscopía túnel para campos superiores a 15 T. Se colaborará en el diseño y construcción de un microscopio túnel de altos campos, y se realizarán primeras medidas bajo campos elevados.

#### 3.5.- Transporte cuántico a través de átomos, moléculas y nanoestructuras (tutor: Nicolás Agrait).

En los sistemas de tamaño atómico, la familiar ley de Ohm que rige el transporte electrónico a escalas mayores pierde su validez, siendo necesario recurrir a las leyes de la mecánica cuántica para describirlo correctamente. Estos efectos cuánticos se pueden observar incluso a temperatura ambiente. El estudiante tendrá oportunidad de explorar estos apasionantes fenómenos tanto desde el punto de vista teórico como experimental, haciendo uso de una de las herramientas esenciales de la Nanotecnología: el microscopio de efecto túnel.

#### 3.6.- Ruido electrónico a nanoescala (tutor: Farkhad Aliev/Isidoro Martínez)



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

A medida que los dispositivos electrónicos disminuyen en tamaño, los avances en electrónica dependen esencialmente de la comprensión y de control de fluctuaciones espontáneas de corriente. Siendo consecuencia de la naturaleza discreta de los portadores, el ruido de disparo es la única contribución al ruido que “sobrevive” hasta bajas temperaturas. En el marco del trabajo propuesto, el estudiante aprenderá a estudiar experimentalmente el ruido electrónico en diversos dispositivos como resistencias o uniones túnel.

Más info: Farkhad Aliev <http://www.uam.es/gruposinv/magtran/offers.html>

### **3.7.- Dinámica no lineal y redes complejas en Biofísica (tutor: Raúl Guantes)**

Los organismos vivos se adaptan y responden al entorno utilizando redes moleculares complejas. En muchas ocasiones, los mismos componentes de la red son capaces de comportamientos muy diferentes, y ello es debido al carácter no lineal de las interacciones que los conectan. Estas respuestas complejas son responsables de importantes procesos biológicos, como la diferenciación celular, la formación de patrones en el desarrollo de animales y plantas, o la resistencia de células cancerígenas a las terapias químicas. Se propone un trabajo teórico/computacional que involucrará técnicas de análisis de dinámica no lineal y de física de sistemas complejos, aplicadas al caso particular de redes que regulan alguno de estos procesos biológicos. El proyecto será discutido previamente con el tutor, y el objetivo es que el estudiante aprenda a manejar y aplicar herramientas propias de un físico a problemas relevantes en Biología. Más información: <http://www.uam.es/raul.guantes> <http://sysbio.openwetware.org/>

### **3.8.- Medidas dinámicas de constantes elásticas de grafeno mediante microscopía de fuerzas atómicas (tutores: Julio Gómez y Cristina Gómez-Navarro)**

### **3.9.- Interacción entre electrones: Teoría y Simulación (tutor: José Vicente Álvarez).**

El objetivo de este trabajo es entender cómo la interacción de Coulomb que actúa entre los electrones, determina algunas propiedades de los materiales. Este trabajo se dirige a estudiantes que quieren profundizar en lo aprendido en los cursos básicos de Física Cuántica y Estadística pero a la vez quieren acercarse a la vanguardia de la investigación en nuevos materiales. Elegiremos un tema de actualidad, examinaremos los experimentos, conceptos y preguntas relevantes. Diseñaremos un plan que incluya el desarrollo de la metodología analítica o computacional necesaria. Finalmente se compararán los resultados con datos experimentales.

### **3.10.- Evolución del estrés en recubrimientos policristalinos. (tutor: Celia Polop).**

El estrés mecánico constituye uno de los principales responsables de la degradación de las propiedades de los materiales. Desde aviones hasta circuitos electrónicos, pasando por los coches de Fórmula 1, el estrés intrínseco reduce el tiempo de vida de los dispositivos y limita sus condiciones de servicio. El estudiante aprenderá a determinar el estrés haciendo uso de sensores ópticos, microscopía de fuerza atómica y difracción de rayos X, y explorará fenómenos tan aplicados y prácticos como la evolución de dicho estrés en láminas policristalinas de metales y sus óxidos usadas como recubrimientos comerciales. El trabajo se realizará en colaboración con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

### **3.11.- Sistemas de reacción-difusión y formación de patrones (tutor: David Gómez Miguez).**

El estudio se centra en los sistemas de reacción-difusión. Este tipo de sistemas exhiben una dinámica oscilante y patrones espaciales, debido a un mecanismo no-lineal que parece desafiar el segundo principio de la termodinámica. El trabajo consiste en la caracterización de este tipo de



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

sistemas mediante un estudio experimental y computacional. Se realizará en el laboratorio una reacción oscilante, y se usará el microscopio para monitorizar y analizar la dinámica de las oscilaciones (periodo, longitud de onda...). Complementariamente, se analizará un modelo matemático de dicha reacción, con el que se compararán las predicciones teóricas con los resultados obtenidos en el laboratorio.

### **3.12.- Transporte cuántico en grafeno y otros cristales bidimensionales (tutor: Juan José Palacios).**

En este trabajo nos introduciremos en el tema del transporte electrónico y de spin en sistemas mesoscópicos. Trataremos los conceptos teóricos más relevantes, la resolución analítica de modelos efectivos sencillos, así como algunas técnicas computacionales que pueden ser aplicadas para simular una gran variedad de nanoestructuras. Aplicaremos estos métodos a cristales bidimensionales de gran actualidad y relevancia, como grafeno, siliceno, dicalcogenuros o fosforeno.

### **3.13.- Visualización y manipulación de las propiedades del grafeno átomo a átomo (tutor: Iván Brihuega).**

El grafeno es el primer material puramente bidimensional que se ha podido aislar y presenta unas propiedades excepcionales que lo convierten en el material más prometedor para su integración en los dispositivos electrónicos de próxima generación. Estas propiedades únicas del grafeno, análogas a las que se encuentran en física de partículas y cosmología, derivan en gran parte de su peculiar estructura atómica y la ecuación relativística de Dirac que gobierna el comportamiento de los electrones en este material. El estudiante introducirá y analizará, con la ayuda de un microscopio de efecto túnel a 4K, modificaciones en dicha estructura atómica con el fin de potenciar sus propiedades electrónicas, induciendo en el mismo momentos magnéticos o incluso superconductividad.

### **3.14.- Física Viroológica: propiedades mecánicas de virus individuales (tutor: Pedro J. de Pablo).**

Los virus se pueden entender como contenedores proteicos (cápsida) de tamaño nanométrico, rellenos de material genético (ADN o ARN), que se autoensamblan de forma automática dentro del citoplasma de las células infectadas. No realizan ningún tipo de actividad metabólica y se sirven de la maquinaria molecular de la célula huésped para su reproducción. Durante el ciclo biológico de un virus la cápsida debe proteger su genoma contra agentes agresivos externos. Conocer la relación existente entre la estructura y propiedades fisicoquímicas de un virus y sus funciones es muy importante, no sólo desde un punto de vista básico, sino también para poder establecer estrategias encaminadas a su aprovechamiento en nuevos materiales y terapias génicas. El estudiante será capaz de llevar a cabo la caracterización mecánica de virus individuales en diferentes ambientes líquidos, en función de la variación de la presencia de su material genético. También podrá introducir modificaciones en su estructura mediante la realización de nanofracturas controladas.

### **3.15.-Caracterización de superficies de grafeno para su uso en el microscopio de He (tutor: Daniel Farías).**

El trabajo propuesto forma parte de un proyecto consistente en el desarrollo de un nuevo instrumento. Se trata de construir un microscopio de haces de He con una resolución de unos 20 nm. Una de las principales limitaciones para alcanzar esta resolución es la falta de un buen espejo para átomos de He. Trabajos realizados por nuestro laboratorio han mostrado que una superficie de grafeno es el espejo ideal para optimizar la óptica de dicho instrumento. Se propone un trabajo experimental consistente en caracterizar la estructura y dinámica (fonones)





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

de superficies de grafeno crecidas epitaxialmente sobre sustratos metálicos. El estudiante tendrá por un lado la posibilidad de aprender sobre las propiedades de grafeno, a la vez que podrá contribuir al desarrollo de un instrumento con un gran potencial para nuevas aplicaciones.

### **3.16.- Nanocalorimetría (tutor: Isabel Guillamón).**

Se implementará un nanocalorímetro basado en membranas de nitruro de silicio nanolitografiadas. Se utilizará para medir la transición superconductor mediante medidas de calor específico a bajas temperaturas en muestras monocristalinas de tamaño micrométrico, y con masas del orden de unos pocos microgramos.

### **3.17.- Análisis holográfico de estructuras de difracción (tutor: Hermann Suderow).**

Se analizarán algoritmos de recuperación de fase y de reducción de error en tratamiento de imágenes. Se utilizarán ejemplos reales de imágenes de microscopía túnel en películas ultradelgadas policristalinas de materiales utilizados en la construcción de transistores para microelectrónica.

### **3.18.- Efecto fotovoltaico lateral (tutores: Farkhad Aliev e Isidoro Martinez).**

En el marco de este proyecto alumno/a estudiara referencias sobre efecto fotovoltaico lateral y sus aplicaciones presentando resumen de resultados conocidos en seminario informal de grupo MAGNETRANS. Además, alumno aprenderá realizar medidas experimentales de efecto fotovoltaico lateral en dispositivos metal/óxido/semiconductor usando un sistema experimental basado en un laser i-Beam smart (TOPTICA). También aprenderá realizar simulaciones de fotoefecto lateral usando programa ATLAS.

### **3.19.- Teoría y simulación de transporte cuántico con técnicas de primeros principios (tutor: Juan José Palacios).**

La combinación de teoría de transporte cuántico y técnicas computacionales de primeros principios para el cálculo de la estructura electrónica (principalmente la teoría de funcional de densidad, DFT) está permitiendo simular a escala atómica las propiedades conductoras de cualquier material. En este trabajo el alumno llevará a cabo simulaciones y se familiarizará con los aspectos básicos de ambos campos con la ayuda de programas que están siendo desarrollados en el departamento. El alumno podrá contribuir a su desarrollo si su talento y capacidad lo permiten.

### **3.20.- Propiedades magneto-térmicas de nanopartículas superparamagnéticas para aplicaciones biomédicas (Tutor: Julio Camarero).**

El potencial de la nanotecnología para la detección y el tratamiento de enfermedades ha abierto una disciplina multidisciplinar de investigación denominada Nanobiomedicina. Uno de sus tópicos más activos es el uso de nanopartículas supermagnéticas (NPS) para la eliminación selectiva de células cancerosas mediante un aumento térmico generado por la generación de calor inducido por campos magnéticos alternos. El estudiante se introducirá en el mundo del Nanomagnetismo y sus Aplicaciones Biomédicas. A partir de la determinación experimental de las propiedades magneto-térmicas de NPS se estudiarán los fenómenos básicos involucrados a fin de evaluar las condiciones óptimas para su uso en la eliminación de tumores. Este trabajo se realizará en colaboración con IDMEA Nanociencia.

### **3.21.- Holografía magnética de rayos-X: microscopía magnética en la nanoescala desde el espacio recíproco. (Tutor: Julio Camarero).**

Una de las principales barreras que existen para comprender a nivel fundamental el



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

comportamiento de nanoestructuras es la falta de herramientas experimentales que permitan obtener *contraste magnético y resolución química a escala nanométrica* durante los procesos de inversión de imanación (bajo campos aplicados). Al estudiante se le introducirá en la única técnica experimental existente que nos permite obtener dichas informaciones, como es la holografía magnética de rayos-X, y desarrollará una herramienta para pasar de hologramas magnéticos bidimensionales a imágenes magnéticas.

### **3.22.- Espintrónica: transporte y anisotropía magnética en nanoestructuras (Tutor: Julio Camarero).**

Los materiales magnéticos tienen la propiedad de variar su resistencia eléctrica cuando son sometidos a un campo magnético externo. Este fenómeno es conocido como magnetorresistencia (MR) y es la base de todos los dispositivos de espintrónica en la actualidad. En general, la MR depende del proceso por el cual la imanación se invierte que, a su vez, está determinado por la anisotropía magnética intrínseca del sistema. El estudiante se introducirá en el mundo de la espintrónica. El trabajo consiste en determinar la correlación existente entre la MR y la anisotropía magnética de nanoestructuras, mediante un estudio experimental y computacional. El trabajo se realizará en colaboración con IDMEA Nanociencia.





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 4. Departamento de Física Teórica.

Coordinador: Carlos Eiroa. carlos.eiroa@uam.es

### 4.1. Computational Cosmology (tutor: Alexander Knebe)

Computational Cosmology is the modeling of structure formation in the Universe by means of numerical simulations. These simulations can be considered as the only “experiment” to verify theories of the origin and evolution of the Universe. Over the last 30 years great progress has been made in the development of computer codes that model the evolution of matter on cosmic scales and this new research discipline has established itself.

The aim of this project is to familiarize with some of the standard tools used for simulating cosmic structure formation in the Universe, i.e. the codes NgenIC (generating the initial conditions), GADGET (running the simulation), and AHF (analysing the simulation). The student is supposed to run several different cosmological models and cross-compare the results with each other.

### 4.2. Estudio de las correlaciones energía-energía en el LHC (tutor: Fernando Barreiro)

El scattering elástico  $gg \rightarrow gg$  por otra parte es el proceso dominante que subyace a la producción de chorros a energías del LHC. El estudio de chorros a estas energías es un campo de prueba de QCD en un dominio no explorado hasta ahora. Tema 1: Estudio de estados hadrónicos finales en el LHC y tests de QCD perturbativa.

### 4.3. Estudio del canal Higgs $\rightarrow b$ anti- $b$ (tutor: Fernando Barreiro)

La pieza que falta en el modelo estándar es el bosón de Higgs. El Bosón de Higgs ha sido observado en los modos de desintegración a 4 leptones y a pares de fotones. No hay evidencia conclusiva sobre el modo de desintegración en pares de quarks  $b$ . Tema 2: Búsqueda del Higgs ligero en el modo de desintegración a pares  $b$ -anti  $b$ .

### 4.4. Estudio de la energía de Wigner en modelos nucleares esquemáticos (tutor: Tomas Raul Rodriguez Frutos).

Una de las propiedades básicas de los núcleos atómicos es su masa (o energía de ligadura). Aparte de su interés intrínseco, las masas nucleares juegan un papel muy importante ya que determinan los límites de la existencia de los núcleos como sistemas ligados o la energía liberada/necesaria para que se den reacciones nucleares. A lo largo de la historia de la Física Nuclear se han establecido modelos para describir las masas de los núcleos conocidos y predecir aquellos que no se pueden producir en los laboratorios, pero que juegan un papel determinante en procesos de formación de elementos pesados que ocurren en las estrellas. Entre estos modelos, los más recientes son aquellos que tratan el núcleo de manera microscópica a partir de los protones y neutrones que lo constituyen. Estos modelos presentan dificultades



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

para reproducir correctamente por sí mismos las masas de los núcleos inestables que tienen un número similar de neutrones y protones. Para corregir este inconveniente normalmente se introduce un término fenomenológico llamado energía de Wigner. En este trabajo de fin de grado se pretende investigar el posible origen de este término usando modelos microscópicos con interacciones nucleares esquemáticas y técnicas de resolución de problemas de muchos cuerpos cuánticos avanzadas. Una parte importante de dicho trabajo consistirá en el desarrollo y ejecución de programas informáticos.

#### **4.5. Poblaciones estelares en la galaxia NGC628 (tutora: Patricia Sanchez-Blazquez).**

La luz que observamos de las galaxias evolucionadas está compuesta, casi en su totalidad, por la superposición de la luz emitida por las distintas poblaciones de estrellas que la componen. Estas poblaciones constituyen fósiles a partir de los cuales se puede estudiar cómo ha sido la historia de formación estelar en cada galaxia, i.e. su historia evolutiva. La estimación de los parámetros de las poblaciones estelares que componen una galaxia se realiza habitualmente mediante el estudio de su espectro. En este trabajo se propone que el alumno haga un estudio detallado de las poblaciones estelares de la galaxia cercana de disco NGC628, similar a nuestra Vía Láctea.

#### **4.6. Entrelazamiento cuántico: aspectos fundamentales y aplicaciones (tutor: José Luis Sánchez Gómez)**

El trabajo está orientado a la comprensión de los conceptos básicos del entrelazamiento cuántico ("quantum entanglement"), así como a llegar a tener una idea al menos semicuantitativa de las aplicaciones más interesantes de la información cuántica, en particular la criptografía y la teleportación cuánticas, y más de pasada, debido a su complejidad técnica, de la computación cuántica. Más en concreto, los temas a tratar serían: 1. Mecánica cuántica y realidad objetiva. Teorema de Kochen-Specker. 2. Estados de dos partículas: estados entrelazados. "Paradoja" EPR y desigualdades de Bell. 3. Comprobación experimental de las desigualdades de Bell, resultados recientes. 4. Teorema de no-clonación cuántica, aplicación a la criptografía. 5. Entrelazamiento y teleportación cuántica. 6. Introducción a la computación cuántica.

#### **4.7. El concepto del vacío en física: evolución histórica e ideas recientes (tutor: José Luis Sánchez Gómez)**

El trabajo tiene como objeto desarrollar el concepto de vacío en física a través de un análisis histórico de las líneas esenciales de su evolución para llegar a las ideas actuales en física cuántica y cosmología. No se pretende que en estas últimas áreas, física cuántica y cosmología, el nivel técnico sobrepase los conocimientos de física esperables en un alumno del último curso del grado, pero sí que las ideas fundamentales sean entendidas y expuestas adecuadamente. El contenido sería en resumen: 1. La idea del vacío en la Grecia clásica, de los presocráticos a Aristóteles. 2. El concepto del vacío en



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

Galileo y Newton. 3. La idea "práctica" del vacío. Torricelli, Pascal y el nacimiento de la física de fluidos. 4. Luz y vacío. La idea del éter en la física del XIX y su abolición por Einstein. Espacio-tiempo y vacío relativistas. 5. El vacío cuántico. Vacío versus Nada. Fluctuaciones del vacío. Manifestación macroscópica: efecto Casimir. 6. El vacío en la física actual. El vacío cósmico. La expansión acelerada del universo y la energía del vacío (constante cosmológica).

#### **4.8. Ondas gravitatorias (tutor: Enrique Alvarez)**

Toda teoría relativista de la gravitación predice la existencia de ondas gravitatorias. Estas ondas son muy débiles y difíciles de detectar, pero en cuanto ello ocurra, abrirán una nueva ventana al universo, igual de importante que las ondas electromagnéticas. Puesta a punto siguiendo los trabajos de la colaboración LIGO en USA.

#### **4.9. Determinación de parámetros fundamentales del Modelo Estándar de la Física de Partículas (tutor: Carlos Pena)**

En este trabajo de fin de grado el/la estudiante se familiarizará con el problema de combinar predicciones teóricas y resultados experimentales en Física de Altas Energías, con el fin de determinar los parámetros de interacción de partículas elementales. En particular, se estudiará el llamado "sector de sabor", i.e. los acoplamientos que gobiernan las interacciones entre partículas pertenecientes a distintas generaciones, contenidos en las matrices de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) y Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS). La determinación de la matriz CKM requiere estudiar procesos de desintegración de hadrones (estados compuestos por quarks y gluones), mientras que para determinar la matriz PMNS es preciso realizar experimentos de precisión en física de neutrinos. El objetivo principal será entender qué grado de conocimiento poseemos actualmente sobre los valores de estos parámetros, cómo se prevé mejorarlo en el futuro inmediato mediante nuevos experimentos y cálculos.

#### **4.10. Modelización biofísica de sistemas neuronales (tutor: Néstor Parga).**

El trabajo se refiere al estudio de los procesos biofísicos que ocurren en el cerebro durante la percepción sensorial, o durante la toma de decisiones, o cuando se mantiene información en la memoria. El trabajo comienza con el estudio de los conceptos fundamentales del procesamiento cerebral. Se adquirirán nociones sobre propiedades emergentes en la dinámica de la actividad cerebral, tales como la generación de atractores por medio del aprendizaje. Se analizarán cuestiones sobre el código neuronal, es decir sobre cómo se representa en el cerebro el mundo sensorial. Para ello se estudiarán elementos básicos de teoría de la información y se los aplicará al estudio del procesamiento cerebral.

#### **4.11. Sistemas planetarios extrasolares (tutor: Carlos Eiroa)**

En los últimos 20 años se han descubierto cerca de dos mil planetas



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

orbitando estrellas próximas al Sol, muchos de ellos distribuidos en varios centenares de sistemas planetarios múltiples. Las arquitecturas de tales sistemas son muy variadas y ningún caso semejante a la del Sistema Solar. En el trabajo que se propone, la/el estudiante analizará: i) métodos de detección de planetas con un análisis crítico de sus limitaciones y sesgos, ii) propiedades de los planetas y sistemas extrasolares descubiertos hasta el momento de comienzo del trabajo; iii) relación con las propiedades de las estrellas que los albergan; iv) teorías sobre la formación y evolución de planetas y sistemas planetarios.

#### **4.12. La estructura interna de la Vía Láctea (tutor: Yago Ascasibar)**

El objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un modelo analítico sencillo de nuestra galaxia. Nuestro conocimiento de su estructura interna ha avanzado enormemente durante los últimos años, en buena medida gracias a la disponibilidad de cartografiados sistemáticos de todo el cielo a diferentes longitudes de onda. Durante la primera parte del trabajo se recopilará información actualizada sobre la distribución y propiedades físicas de la población estelar, las distintas fases (molecular, atómica e ionizada) del medio interestelar, el polvo, el campo de radiación, los rayos cósmicos y el campo magnético. Todas estas componentes están íntimamente relacionadas entre sí, de modo que la puesta en común de toda esta información resulta imprescindible para entender los mecanismos que subyacen a la estructura observada. A continuación se comparará el modelo analítico con datos observacionales de carácter público, poniendo especial énfasis en el tratamiento autoconsistente de los procesos físicos más relevantes.

#### **4.13. El bosón de Higgs en WW scattering (tutora: María José Herrero)**

Una vez descubierto el bosón de Higgs en el LHC con una masa de unos 126 GeV falta ahora conocer su verdadera naturaleza. El estudio del WW scattering jugará sin duda un papel importante para avanzar en dicho conocimiento. El trabajo consistirá en analizar el comportamiento del WW scattering en presencia del bosón de Higgs y evidenciar las posibles desviaciones respecto de las predicciones del Modelo Estándar de la Física de Partículas.

#### **4.14. Dimensiones espaciales extra (tutor: L. Ibanez)**

En este trabajo se estudiara la posibilidad de la existencia de dimensiones espaciales extra mas alla de las 3 cotidianas. El contexto es el de las teorías de Kaluza-Klein donde las dimensiones extra tienen una dimensión diminuta y otras teorías relacionadas. Se estudiara también la posibilidad de detectar experimentalmente estas dimensiones y su conexión con la Teoría de Cuerdas.

#### **4.15. Ruptura espontánea de la simetría (tutores: L. Ibanez/V.Martin)**

En este trabajo se estudia el fenómeno de la ruptura espontánea de la simetría en el contexto de la teoría de campos relativista y su aplicación en el contexto de Física de Partículas. Ello incluye el



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

estudio de la partícula de Higgs en modelos sencillos y en el Modelo Standard de las interacciones Electro-Debiles.

#### **4.16. Mecánica cuántica relativista y supersimetría (tutores: L.Ibanez/A. Uranga)**

Los dos pilares fundacionales de la física moderna son la mecánica cuántica y la relatividad especial. La combinación de ambos formalismos resulta en una teoría enormemente restrictiva, la mecánica cuántica relativista, que explica propiedades como la masa, el espín, o la existencia de antimateria. En este TFG se estudiarán las bases de la mecánica cuántica relativista, comenzando con las representaciones del grupo de Poincaré y la relación entre campos y partículas, así como los teoremas CPT y espín estadística. De manera opcional se estudiará el teorema de Coleman-Mandula y la Supersimetría, la cual juega un papel fundamental en física de altas energías, tanto en fenomenología más allá del Modelo Estándar como en diversas propuestas de teorías cuánticas de la gravedad.

#### **4.17. Dinámica de sistemas de N-cuerpos (tutor: Yago Ascasibar)**

En este trabajo se estudiará la dinámica de un sistema formado por  $N$  partículas que interactúan gravitatoriamente, resaltando las diferencias con respecto al caso de una distribución continua. Dependiendo de los intereses y las aptitudes del estudiante, el problema se abordará desde un punto de vista analítico, tratando de formular las ecuaciones que describen la evolución de la densidad de probabilidad de encontrar una partícula en función de su posición y velocidad, o desde un punto de vista numérico, comparando los resultados en una, dos y tres dimensiones.

#### **4.18. El hamiltoniano de pairing: un laboratorio para explorar aproximaciones al problema de muchos cuerpos en mecánica cuántica (tutor: Luis Robledo)**

Desafortunadamente todavía no existe un único procedimiento para atacar la solución de problemas de muchos cuerpos en mecánica cuántica fuertemente correlacionados. Las muchas aproximaciones propuestas suelen confrontarse con soluciones exactas en sistemas sencillos donde dichas soluciones son conocidas.

Se pretende aplicar algunas de las técnicas de aproximación comunes en el problema de muchos cuerpos tales como el campo medio (aproximación de BCS), proyección, dynamical mean field, geminals, etc a la solución del hamiltoniano de pairing para apreciar la bondad de dichas aproximaciones comparándolas con el resultado exacto de Richardson.

El estudiante deberá tener una buena base teórica en mecánica cuántica que incluya por ejemplo el formalismo de segunda cuantificación.

#### **4.19. Cálculo de Funciones de Correlación angular en el Dark Energy Survey, para la determinación de los parámetros de la Energía Oscura (tutores: Juan Garcia-Bellido/Ana Salvador)**

El alumno/a se familiarizará con el manejo de grandes bases de datos reales, de cartografiados de galaxias como el Dark Energy Survey, para



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

el cálculo numérico de las funciones de correlación de galaxias, así como con el formalismo teórico que permite interpretar dichos datos.

#### **4.20. Título: Agujeros negros y radiación de Hawking (tutores: Enrique Álvarez/José L. Fernández Barón)**

Los agujeros negros son una consecuencia muy importante de la teoría relativista de la gravitación, tanto a nivel teórico como desde el punto de vista de las aplicaciones en Astrofísica. En particular, su evaporación cuántica plantea problemas de fundamentos que permanecen abiertos. En este proyecto se invita al alumno a familiarizarse con la física clásica de los agujeros negros como aplicación de los conocimientos adquiridos en cursos de relatividad general, y se introducen derivaciones sencillas de la conexión entre estados cuánticos térmicos y el principio de equivalencia, culminando con una discusión simplificada de la radiación de Hawking.



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

## 5. Departamento de Física Teórica de la Materia Condensada.

**Coordinador: Juan Carlos Cuevas:** [juancarlos.cuevas@uam.es](mailto:juancarlos.cuevas@uam.es)

### 5.1. Teoría de la dinámica cuántica en sistemas abiertos: nanoestructuras en materia condensada (tutor: Carlos Tejedor, [carlos.tejedor@uam.es](mailto:carlos.tejedor@uam.es))

Los sistemas cuánticos acoplados a baños (sistemas con muchos grados de libertad) no pueden ser descritos mediante funciones de onda. Hay que trabajar con probabilidades, es decir, con matrices densidad cuya dinámica no está descrita por la ecuación de Schrödinger sino por ecuaciones más complicadas. En este trabajo teórico se estudiarán y aplicarán ese tipo de métodos a las propiedades electrónicas de nanoestructuras de materia condensada.

### 5.2. Dinámica de la interferencia de N fotones (tutores: Fabrice Laussy y Elena del Valle, [fabrice.laussy@uam.es](mailto:fabrice.laussy@uam.es))

El sistema cuántico por excelencia es un sistema de dos niveles (fundamental y excitado). Este puede representar una transición atómica o de otro tipo en en caso de sistemas artificiales como puntos cuánticos o circuitos superconductores. Cuando se excita el sistema con un laser, a pesar de tener solo una frecuencia natural, sorprendentemente este emite fotones que están repartidos en frecuencia formando un triplete, llamado "de Mollow" en honor a su descubridor. En este proyecto, se estudiará de manera teórica la dinámica de la formación de este famoso triplete bajo una excitación pulsada y la interferencia que producen los fotones emitidos a diferentes frecuencias. Se usará un formalismo recientemente desarrollado en nuestro grupo que permite incluir la detección de manera precisa, ya que esta determina enormemente el resultado de la medida. Este estudio involucra numerosos efectos cuánticos como el principio de incertidumbre de Heisenberg, la indistinguibilidad, formación de estados virtuales, colapso de la función de onda, etc.

### 5.3. Propagación de luz en sistemas nanofotónicos no-hermíticos (tutor: Antonio Fernández Domínguez, [a.fernandez-dominguez@uam.es](mailto:a.fernandez-dominguez@uam.es))

Uno de los postulados fundamentales de la mecánica cuántica dice que cualquier observable de un sistema físico ha de ser descrito por un operador lineal hermítico, de tal forma que su espectro de autovalores sea real. En los últimos años, se ha dedicado mucha atención al estudio de la sorprendente física que emerge en sistemas que, sin ser hermíticos, son simétricos bajo transformaciones de inversión espacial y temporal, lo que hace que presenten también autovalores reales. El gran desarrollo que el campo de la nanofabricación ha experimentado en la última década, hace posible explorar esta anti-intuitiva física en nanoestructuras fotónicas, que también han encontrado aplicaciones tecnológicas tales como diodos ópticos o cavidades láser. Este proyecto de 6 créditos consiste en el estudio teórico de estos sistemas dentro del marco de la electrodinámica clásica (ecuaciones de Maxwell), con especial énfasis en la investigación de las consecuencias físicas de su no-hermiticidad a través de analogías con la física cuántica.

### 5.4. Triggered vortices and vortex arrays in polariton OPO superfluids: a numerical study (tutor: Francesca Marchetti, [francesca.marchetti@uam.es](mailto:francesca.marchetti@uam.es))

A numerical approach has been recently developed in our group to study the formation and dynamics of vortices in polariton microcavities. The objective of this project is the study of





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

triggered vortices and vortex lattices. In particular, it has been shown that the stability of vortices is related to the supercurrent distribution characterising the system (see figure). The basic project of 6 credits will consist of the familiarisation of the students with the background and the theoretical tools used in this field, and understanding, as well as manipulating, the basics of the numerical elements. In case the student will be interested, the project can be extended up to a 12 credits, and will be asked to engineer a pumping scheme for OPO, where the currents are favourable to the appearance of either stable or metastable vortex lattices. The project can give the interested student the possibility of also interact with the experimentalists that realise such systems in the laboratory.

### **5.5. Tuning the interaction of cavity polaritons by quantum tunnelling (tutor: Francesca Marchetti)**

Microcavity polaritons are the normal modes resulting from the strong coupling between quantum well excitons and cavity photons. Because of their strong light-matter interaction and the interplay with Coulomb interactions for the excitons, microcavity polaritons have attracted a noticeable interest in the last decade and have been the subject of intensive research. Conventional microcavities consider excitons belonging to the same quantum well, named direct excitons. However, by spatially separating electrons and holes in two coupled double quantum wells by means of an external electric field, results in indirect excitons, characterised by a large static dipole moment. By embedding double quantum wells inside a conventional microcavity in the strong coupling regime, unites the concepts of indirect excitons and microcavity polaritons to produce optically active quasiparticles with transport properties, named dipolaritons. Dipolaritons offer advantages such as electrical trapping and tuning of excitons, strong optical coupling to low-mass quasiparticles with large de Broglie wavelength, and excellent control over the dipole properties and interactions. The basic project will consist of the familiarisation of the students with this system and its few-body properties (simple three-mode harmonic oscillator model).

### **5.6. Propiedades magnéticas de materiales moleculares cuasi-bidimensionales con redes hexagonales (tutor: Jaime Merino, jaime.merino@uam.es)**

El objetivo de este trabajo es el análisis teórico de las propiedades magnéticas de materiales que se pueden describir por redes hexagonales bidimensionales. Mas específicamente el trabajo se concentrará en el estudio del modelos de Hubbard en redes hexagonales relevantes al material molecular  $\text{Mo}_3\text{S}_7(\text{dmit})_3$ , explorando la posible existencia de estados magnéticos desordenados ("líquidos de spin") y sus propiedades topológicas.

### **5.7. Modelos sencillos de materia activa (tutor: Pedro Tarazona, pedro.tarazona@uam.es)**

Se denomina materia activa a las estructuras que, mediante un proceso continuo de acoplamiento y desacoplamiento molecular, son capaces de convertir directamente una forma energía química en fuerza y movimiento mecánico. Los movimientos de y en el interior de las células están producidos por este tipo de procesos. En este trabajo se estudiarán modelos sencillos de materia activa para analizar los principios físicos que los regulan.

### **5.8. Transporte cuántico en nanoestructuras (tutor: Alfredo Levy Yeyati, a.l.yeyati@uam.es)**

Las propiedades de transporte electrónico en nanoestructuras difieren drásticamente de su equivalente en sistemas macroscópicos debido a la influencia de efectos cuánticos. Para su estudio teórico se requieren métodos especiales, siendo las técnicas de funciones de Green las mas adecuadas ya que permiten tener en cuenta la estructura microscópica detallada del





Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

sistema, la influencia del desorden y otro tipo de interacciones. Este trabajo se propone como una introducción a este tipo de técnicas, con posibles aplicaciones a sistemas de interés reciente como el grafeno, los nanotubos de carbono o los aislantes topológicos.

### **5.9. ¿Es posible observar efectos cuánticos en nanoesferas metálicas midiendo sus propiedades ópticas y las pérdidas de energía de electrones externos? (tutor: Rosa Monreal, r.c.monreal@uam.es)**

Estudiaremos la pérdida de energía que sufren electrones externos en su interacción con nanoesferas metálicas, debido a que pueden producir excitaciones electrónicas en la superficie y en el interior de la nanopartícula. Nos interesa particularmente investigar como los efectos de cuantización, debidos al pequeño tamaño, se manifiestan en la medición experimental de dichas pérdidas.

### **5.10. Statistics of voids and the nematic-smectic phase transition (tutor: Giorgio Cinacchi, giorgio.cinacchi@uam.es)**

In all the projects supervised by this tutor, the main objective is to acquire a working knowledge of the Monte Carlo method, one of the most widely diffused computational techniques in statistical physics and other fields. With the help of the tutor, the students will be able to write their own Monte Carlo code, test it and then apply it to solve an original problem of current interest in (soft) condensed matter physics.

In a system of elongated hard-body particles, liquid-crystalline phases may form on increasing density. In the nematic phase, particles have their centre of mass uniformly distributed while they tend to orient their long axis along a preferred direction  $\mathbf{n}$ . In a smectic phase, particle centres of mass are not any longer distributed uniformly: rather, particles organise to form liquid layers that in turn stack on top of one another, layer normal for the transition between these two phases and proposed a way to monitor the approaching to the phase transition and setting in of the smectic phase. In essence this amounts to evaluate the volume,  $v$ , of the empty space (void) adjacent to the ends of a rod-like particle, compute its distribution,  $D(v)$ , and study how the form of this function changes on approaching the phase transition. This project seeks to test this idea. Monte Carlo numerical simulations [3] will be performed on a system of parallel hard cylinders. These are known to exhibit a nematic-smectic phase transition. Calculations will be carried out in the neighbourhood of the phase transition and particle trajectories, generated via the Monte Carlo method, will be suitably analysed to compute the above-mentioned distribution function  $D(v)$ .

[1] e.g. J.L. Barrat, J.P. Hansen, *Basic concepts for simple and complex fluids*, CUP (2003).

[2] X. Wen, R.B. Meyer, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 1325 (1987).

[3] e.g. W. Krauth, *Statistical Mechanics: algorithms and computations*, OUP (2006).coinciding with  $\mathbf{n}$  in the simplest case [1]. Ref. [2] provided an explanation

### **5.11. Implementing an event-chain algorithm for the Monte Carlo simulation of hard discs in three dimensions (tutor: Giorgio Cinacchi)**

Infinitely thin hard discs, moving in the three-dimensional space, are a basic model for studying the phase transition between the isotropic phase, in which particles are both positionally and orientationally disordered, and the nematic liquid-crystal phase, where particles are positionally disordered but orientationally ordered [1]. In spite of the simplicity of the model, it turns out that the characteristics of its (very weakly first-order) phase transition are quite subtle. No theory is able to account reliably for them and only numerical simulation techniques, such as the Monte Carlo method [2], appear to be able to capture the details of the physics in full. In order to do so, systems with a number of particles as large as possible would need to be considered. The usual Monte Carlo technique, based as it is on local, single-particle random translations and rotations,



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

may struggle to equilibrate such large systems. The aim of the project is to adapt and implement an algorithm, called event-chain, that incorporates in a Monte Carlo simulation global, many-particle movements so to make the equilibration of a large system more effective. The event-chain Monte Carlo algorithm was initially formulated for hard sphere systems and has been very recently applied to study the fluid-solid phase transition in two-dimensional hard discs with success [3].

[1] e.g. J.L. Barrat, J.P. Hansen, *Basic concepts for simple and complex fluids*, CUP (2003).

[2] e.g. W. Krauth, *Statistical Mechanics: algorithms and computations*, OUP (2006).

[3] E. Bernard, W. Krauth, *Phys. Rev. Lett.* 107, 155704 (2011); M. Engel et al., *Phys. Rev. E* 87, 042134 (2013).

### 5.12. Cholesteric and screw-like nematic chiral orderings in systems of helical particles (tutor: Giorgio Cinacchi)

Particles with a helicoidal shape are ubiquitous in nature. Their elongated shape promotes nematic liquid-crystalline ordering: particles tend to locally align with their long axis along a preferred direction  $\mathbf{n}$ . The inherent chiral character of a helix makes this nematic phase special in that  $\mathbf{n}$  may start spiralling around a direction perpendicular to it, with a characteristic pitch much longer than any particle characteristic length. This type of chiral nematic ordering is called cholesteric and is found in many experimental systems, e.g. DNA solutions [1]. In a recent work, evidence has been provided that helicoidal particles can form at high density another chiral nematic phase. In this phase, it is the helix's short axis that spirals along  $\mathbf{n}$ , the latter now keeping constant throughout the sample [2]. This type of chiral nematic ordering has been denoted as screw-like. It is of interest to investigate the compatibility of these two types of chiral ordering. One way to contribute to this is to devise a proper lattice model and study it by Monte Carlo numerical simulation. To constrain particles on a lattice facilitates the implementation of special, self-adjusting, boundary conditions that allow a cholesteric phase to be handled in a numerical simulation.

[1] e.g. F. Livolant, A. Leforestier, *Prog. Polym. Sci.*, 21, 1115 (1996).

[2] H.B. Kolli, E. Frezza, G. Cinacchi, A. Ferrarini, A. Giacometti, T. S. Hudson, *J. Chem. Phys.* 140, 081101 (2014).

### 5.13. Dinámica molecular de primeros principios (tutor: José Ortega, jose.ortega@uam.es)

La Dinámica Molecular de primeros principios se han convertido actualmente en una herramienta muy poderosa para investigar los procesos dinámicos y electrónicos que ocurren en los materiales a escala atómica. En esta técnica computacional, los átomos siguen trayectorias clásicas ( $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ ), pero las fuerzas entre átomos,  $\mathbf{F}$ , que determinan estas trayectorias se obtienen a partir de la estructura electrónica **cuántica** del sistema.

El objetivo de este proyecto es que el estudiante aprenda los fundamentos teóricos de esta técnica y, sobre todo, que aprenda a utilizarla en la práctica. Para ello, el estudiante utilizará métodos de dinámica molecular de primeros principios desarrollados en nuestro grupo de investigación para estudiar computacionalmente moléculas relativamente complejas y/o superficies de semiconductores.

### 5.14. Grafeno fotónico (tutor: Jorge Bravo, jorge.bravo@uam.es)

El estudio de las propiedades electrónicas del grafeno (un material bidimensional formado por una sola capa de átomos de carbono) se ha convertido en una de las áreas con más actividad en materia condensada. El gran interés en este material novedoso ha estimulado también direcciones de investigación completamente nuevas en campos relacionados, particularmente en



Asignatura: Trabajo de Fin de Grado  
Código: 16416  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Física  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación Obligatoria  
Nº de créditos: 12 ECTS

aquellos que se inspiran en la física del transporte electrónico en sólidos cristalinos. De especial interés en este contexto son los metamateriales fotónicos: materiales estructurados artificialmente a escalas mucho menores que la longitud de onda que permiten obtener propiedades fotónicas que no se pueden encontrar de forma natural. Haciendo uso de la analogía entre la propagación de electrones en grafeno y la propagación de fotones en metamateriales, recientemente hemos creado el primer análogo fotónico del grafeno. Este nuevo material, que hemos denominado “grafeno fotónico”, no sólo permite reproducir para fotones las propiedades de transporte electrónico del grafeno, sino que también está haciendo posible el descubrimiento de fenómenos totalmente nuevos que no se pueden encontrar en ningún otro sistema físico. El objetivo de este proyecto de 6 créditos consiste en el estudio detallado de la propagación de luz en metamateriales fotónicos dieléctricos que presentan conos de Dirac.

### **5.15. Hidrodinámica de partículas coloidales controlada por laser (tutor: Rafael Delgado Buscalioni, rafael.delgado@uam.es)**

El objetivo de este proyecto es, en primer lugar, un primer contacto con la hidrodinámica de nanopartículas inmersas en un fluido. Para ello estudiaremos las principales características del movimiento Browniano y las interacciones entre nanopartículas inducidas por el movimiento del agua que estas fluctuaciones Brownianas generan. En segundo lugar aprenderemos a usar el código FLUAM, que resuelve la hidrodinámica de partículas en computadores con tarjetas gráficas. La aplicación con la que jugaremos se trata del movimiento de nanopartículas controladas por luz laser. Se trata de un ejercicio sobre una reciente innovación técnica de gran relevancia. La fuerza óptica sobre la partícula que surge de la interacción del laser con la nanopartícula metálica es conocida analíticamente y puede añadirse a FLUAM para estudiar los diversos tipos de movimientos y difusiones resultantes.

### **5.16. Hidrodinámica de coloides atractivos en campos de ultrasonido (tutor: Rafael Delgado Buscalioni)**

El objetivo de este proyecto es en primer lugar, un primer contacto con la hidrodinámica de coloides (pequeñas partículas de menos de una micra). Comenzaremos aprendiendo las principales características del movimiento Browniano y las interacciones inducidas por el movimiento del agua que estas fluctuaciones generan. Por otra parte, en este trabajo, trabajaremos con partículas coloidales con interacción potencial atractiva: dos partículas de coloide (término que proviene de “cola”) se “pegan” a cortas distancias. Los campos de ultrasonido son capaces de ejercer una fuerza sobre los coloides en el agua, una fuerza que tiende a conducirlos a un plano (el nodo de la onda sónica) en lugar de vivir en 3D. Usaremos una aproximación de este potencial sónico (externo) y tras un primer análisis de la estructura coloidal equilibrio, usando Monte Carlo, exploraremos como afecta el líquido portador a la cinética, usando para ello el código FLUAM que resuelve la hidrodinámica de partículas en computadores con tarjetas gráficas. Propondremos algún tipo de potencial entre partículas con reciente interés teórico y aplicado, de modo que resulte más atractivo el trabajo. Si hay tiempo suficiente, resolveremos toda la dinámica en FLUAM (incluyendo la onda sónica, y las interacciones secundarias que induce).  
Ciencias).