



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Dinámica electrónica en materiales bidimensionales	
Title:	Electron dynamics in two-dimensional materials	
Supervisor/es:	Francisco Domínguez-Adame Acosta	
E-mail supervisor/es	adame@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Familiarizar al alumno con la física teórica de la materia condensada, en relación con la dinámica de los electrones en materiales bidimensionales, como la superficie de aislantes topológicos o los dicalcogenuros de metales de transición. Explorar el estado del arte en el análisis teórico de este problema.

Metodología:

Se partirá de resultados previos [1, 2], y se analizará el efecto del desorden debido a defectos puntuales en algunos materiales bidimensionales, seleccionados por su interés básico y aplicado. En una primera fase se hará hincapié en las propiedades espectrales (densidad local de estados), con la finalidad de caracterizar los estados y, si es posible, obtener posteriormente las magnitudes de transporte (conductividad eléctrica).

Bibliografía:

- [1] Excitons, trions and Rydberg states in monolayer MoS₂ revealed by low-temperature photocurrent spectroscopy
D. Vaquero, V. Clericò, J. Salvador-Sánchez, A. Martín-Ramos, E. Díaz, F. Domínguez-Adame, Y. M. Meziani, E. Diez and J. Quereda
Communications Physics **3**, 194 (2020).
- [2] Many-impurity scattering on the surface of a topological insulator
J. L. Hernando, Y. Baba, E. Díaz and F. Domínguez-Adame
Scientific Reports **11**, 5810 (2021).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Crecimiento y caracterización de películas delgadas magnéticas	
Title:	Growth and characterization of magnetic thin films	
Supervisor/es:	Adrián Begué, Rocío Ranchal	
E-mail supervisor/es	adrbegue@ucm.es , rociran@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Introducir al estudiante en el campo de los nanomateriales mediante el crecimiento y caracterización de películas delgadas de aleaciones magnéticas de alta relevancia tecnológica en el ámbito de la eficiencia energética.

Metodología:

- Revisión bibliográfica sobre crecimiento y caracterización de películas delgadas magnéticas como inicio del TFG.
- Crecimiento de películas delgadas de aleaciones magnéticas.
- Caracterización de las muestras mediante diversas técnicas para determinar sus propiedades, como por ejemplo difracción de rayos x o magnetometría Kerr.

Bibliografía:

- B. D. Cullity, C. D. Graham. Introduction to Magnetic Materials. Cambridge University Press (2008).
- D. Smith. Thin-film deposition: principles and practice. McGraw-Hill (2005).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Desarrollo y caracterización de nanoestructuras magnéticas para la hipertermia magnética
Title:	Development and characterization of magnetic nanostructures for magnetic hyperthermia
Supervisor/es:	Patricia de la Presa, Daniel Matatagui
E-mail supervisor/es	pmpresa@ucm.es , daniel.m.c@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Participar en el desarrollo de nuevas nanoestructuras magnéticas para la optimización de la hipertermia magnética [1]. Una vez obtenidas las nanoestructuras se llevará a cabo una caracterización de las mismas mediante un amplio abanico de técnicas que permitan determinar tanto su composición, morfología y propiedades magnéticas. Además, se estudiará la eficiencia de calentamiento bajo distintos campos magnéticos.

Metodología:

- Desarrollo de diferentes nanoestructuras magnéticas mediante el proceso de molienda mecánica (principalmente ferritas).
- Aplicación de técnicas como SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray spectroscopy) y magnetómetros para caracterización de las muestras obtenidas.
- Caracterización con magnetometría AC.

Bibliografía:

[1] I Morales, R Costo, N Mille, J Carrey, A Hernando, P de la Presa, *Nanoscale Adv.* 2021, **3**, 5801-5812



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Instrumentación de un sensor de ondas de espín para medidas de propiedades magnéticas de nanopartículas.	
Title:	Instrumentation of a spin-wave sensor for measurements of magnetic properties of nanoparticles.	
Supervisor/es:	Patricia de la Presa, Daniel Matatagui	
E-mail supervisor/es	pmpresa@ucm.es , daniel.m.c@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Participar en el proceso de prototipado de un microsistema analítico basado en ondas de espín que sea fiable, de muy bajo costo y con muy alta sensibilidad a cambios del campo magnético adyacente. El prototipo será caracterizado eléctricamente y posteriormente se automatizará la adquisición de respuesta del sensor a cambios de las propiedades magnéticas de las nanopartículas.

Metodología:

- Desarrollar instrumentación compacta para la adquisición de datos. Se llevará a cabo un entrenamiento previo en la caracterización de dispositivos y circuitos electrónicos de ultra alta frecuencia (UHF) con instrumentación especializada (analyzer de redes, analyzer de espectros, contadores de frecuencia, osciloscopios, ...), que permita a partir de elementos básicos y comerciales participar en el desarrollo de instrumentación compacta e inalámbrica que permita obtener el prototipo de un microsistema analítico.
- Desarrollo de software para la adquisición de datos. Para obtener la respuesta de los sensores desarrollados se participará en el desarrollo de software sencillo que permita la adquisición y pre-tratamiento de datos que facilite la interpretación de resultados.

Bibliografía:

- Matatagui et al.. Magnonic sensor array based on magnetic nanoparticles to detect, discriminate and classify toxic gases. (2017), 240, pp. 497 – 502.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Nano-dispositivos para sistemas de computación	
Title:	Nano-devices for Computing	
Supervisor/es:	Miguel Romera	
E-mail supervisor/es	miromera@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

La computación neuromórfica o bio-inspirada propone desarrollar sistemas de computación inspirados en el cerebro humano, capaces de realizar tareas cognitivas consumiendo poca energía. Esto tendría un gran impacto en campos como Inteligencia Artificial o Big data, y requiere nano-dispositivos capaces de imitar el comportamiento de las neuronas y sinapsis biológicas. En este contexto, la electrónica de óxidos y la espintrónica son dos de las tecnologías más prometedoras.

Además de su potencial para estos sistemas de computación emergentes, los dispositivos espintrónicos (que explotan tanto la carga del electrón como su espín) juegan un papel clave en la industria de cabezas lectoras y memorias magnéticas.

El estudiante deberá elegir una de entre dos posibles aproximaciones al TFG:

- 1) Aprender los conceptos básicos de la Computación Neuromórfica (propiedades de las neuronas y sinapsis artificiales, redes neuronales, etc...), así como los fenómenos físicos más prometedores de la electrónica de óxidos o la espintrónica (cambios resistivos volátiles y no-volátiles, etc...).
- 2) Aprender los conceptos básicos de los dispositivos espintrónicos: corrientes polarizadas de espín, magnetoresistencia, efecto de transferencia de espín, etc.

Metodología:

El carácter del trabajo podrá incluir estudio bibliográfico, desarrollo de facetas experimentales y/o profundización en las aplicaciones de los efectos y dispositivos estudiados. Los aspectos específicos se decidirán entre supervisor y estudiante.

Bibliografía:

1- '*Challenges in materials and devices for resistive-switching-based neuromorphic computing*'
J. del Valle et al., J. of Appl. Phys. 124, 211101 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5047800>

- 2- "*Magnetoresistance and spin electronics*", A. Barthélémy et al., J. of Magn. and Magn. Mat. 242-245, 68-76 (2002). [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(01\)01193-3](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(01)01193-3)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Simulaciones de microscopía túnel en superficies	
Title:	Simulating the tunneling current in different surfaces	
Supervisor/es:	César González Pascual	
E-mail supervisor/es	cesar.gonzalez@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Aprendizaje de la metodología de funciones de Green-Keldysh para el cálculo de transporte electrónico para obtener la expresión de la corriente en un microscopio de efecto túnel [1]. Aprendizaje de la teoría del funcional de la densidad para la determinación de la estructura atómica y electrónica de las superficies a estudiar, mediante el uso del código FIREBALL [2]. Obtención de imágenes STM con un software propio y comprobación de los parámetros importantes en la imagen final. Se recomiendan conocimientos de Linux.

Metodología:

Se comenzará reproduciendo resultados previos usando materiales sencillos como grafeno o MoS_2 y se compararán los resultados con resultados de la literatura [1, 3]. Se estudiará el efecto del cambio del voltaje, de la altura de la punta o de la naturaleza de la punta en la imagen STM simulada sobre una superficie como $\text{Sn/Si}(111)$. Finalmente, se podrá estudiar el régimen de contacto y el efecto de los cambios estructurales en la corriente túnel.

Bibliografía:

[1] "Theoretical study of carbon-based tips for scanning tunnelling microscopy
C González, E Abad, YJ Dappe, JC Cuevas Nanotechnology 27, 105201 (2016)

[2] “Advances and applications in the FIREBALL ab initio tight-binding molecular-dynamics formalism” J. P. Lewis *et al.* Phys. Status Solidi B 248 1989 (2011)

[3] “Theoretical characterisation of point defects on a MoS₂ monolayer by scanning tunnelling microscopy” C. González, B. Biel, Y. J. Dappe. Nanotechnology **27**, 105702 (2016).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Simulaciones <i>ab initio</i> de estructuras con base de carbono y su potencial uso como electrodos en baterías
Title:	Ab initio Simulations of carbon-based materials for a potential use as electrodes in future batteries
Supervisor/es:	César González Pascual
E-mail supervisor/es	cesar.gonzalez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Aprendizaje de la teoría del funcional de la densidad para la determinación de la estructura atómica y electrónica de diferentes estructuras con base de carbono: grafeno, nanotubos o moléculas C₆₀ mediante el uso del código FIREBALL [1]. Se estudiará la estructura electrónica inicial de los materiales, así como el efecto de la inclusión de diferentes elementos dopantes (N, B o Si). Se estudiará la inclusión de diferentes elementos alcalinos susceptibles de ser usados en una batería de estado sólido (Li, Na, Ca, Mg o K). Se estudiará la transferencia electrónica entre el átomo alcalino y el material carbónico.

Metodología:

Se comenzará reproduciendo resultados previos obtenidos en TFGs previos usando el grafeno o el grafito [2]. Se estudiarán las diferentes posibles posiciones del átomo alcalino cerca/dentro de diferentes nanotubos (n,n) y moléculas de C₆₀ para encontrar su posición más estable. Se estudiará la dependencia con el tipo de elemento y el tamaño del nanotubo. Se repetirá el proceso con los sistemas dopados con uno o dos átomos de N o B. Se estudiará la posición más estable de un segundo átomo alcalino: cerca del primero o lejos. Esto se hará para los diferentes casos estudiados. Algunos cálculos se realizarán en supercomputadores de la RES.

Bibliografía:

[1] "Advances and applications in the FIREBALL ab initio tight-binding molecular-dynamics formalism" J. P. Lewis *et al.* Phys. Status Solidi B 248 1989 (2011)

[2] "Simulaciones de dinámica molecular ab initio: Li intercalado en láminas de MoS₂" Guillermo Morón. TFG Junio 2022.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Nanomateriales magnéticos
Title:	Magnetic nanomaterials
Supervisor/es:	Rocío Ranchal Sánchez
E-mail supervisor/es	rociran@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El objetivo general de este TFG es ampliar el conocimiento sobre los sistemas magnéticos que más se están investigando dentro del campo de los nanomateriales. De acuerdo a los intereses del/de la estudiante que elija este TFG, se definirá la temática concreta que puede estar en los ámbitos de: magnetoelasticidad, sensores, o energía.

Metodología:

Se propone un estudio básico bibliográfico, pero con posibilidad de ampliarlo con trabajo experimental si así se decide por parte del/de la estudiante. Como complemento experimental se propone el crecimiento mediante la técnica de sputtering y caracterización mediante difracción de rayos-X y magnetometría. En caso de que no sea posible, o que no sea la opción preferente del estudiante, se realizará una revisión bibliográfica de la temática elegida.

Bibliografía:

- B. D. Cullity, C. D. Graham. *Introduction to Magnetic Materials*. Cambridge University Press (2008).
- Artículos científicos relacionados con la temática.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Gases de electrones bidimensionales	
Title:	Two Dimensional Electron Gases	
Supervisor/es:	Flavio Bruno	
E-mail supervisor/es	fybruno@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Comprender y explicar la estructura electrónica y los fenómenos de magneto-transporte en gases de electrones bidimensionales estabilizados en KTaO_3 . Estudiar la relación entre la estructura electrónica y el uso de estos gases bidimensionales en aplicaciones de espintrónica, en particular en la conversión de corrientes de espín en corrientes de carga.

Metodología:

El trabajo consistirá en 2 partes diferenciadas:

1.- Cálculo de la estructura de bandas de gases de electrones en KTaO_3 utilizando BimPo y comparación con resultados de ARPES. [1]

2.- Síntesis de gases bidimensionales y medidas de magneto-transporte de los sistemas simulados en el punto anterior. [2]

Se pondrá más énfasis en la parte experimental o parte de simulación dependiendo del interés del alumno.

Bibliografía:

1] [Comp. Phys. Comm. 284, 108595 \(2023\)](#) (descripción de simulaciones).

[2] [Advanced Electronic Materials 210376 \(2022\)](#) (comparación de simulación con datos experimentales).

[3] [arXiv:1612.03571 \(2016\)](#) (descripción de gases de electrones bidimensionales).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Composites de óxidos metálicos para su utilización en fotocatalisis y sensado de gases	
Title:	Metal oxide composites for use in photocatalysis and gas sensing	
Supervisor/es:	Ana Urbieto	
E-mail supervisor/es	anaur@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El desarrollo de materiales híbridos (“composites”) es ya un campo bien consolidado en el panorama de la Ciencia de Materiales. En general, se busca la sinergia entre propiedades de dos (o más) materiales distintos, que mejoren su capacidad de aplicación en diversas tecnologías. En este sentido los materiales híbridos basados en óxidos metálicos semiconductores han ido ganando terreno para multitud de aplicaciones tecnológicas como la fotocatalisis o el sensado de gases. El objetivo del trabajo es revisar el estado del arte de este campo científico, así como explorar la posible realización de experimentos de crecimiento y caracterización de este tipo de estructuras en el laboratorio, además se realizarán experimentos de fotocatalisis o sensado con el fin de determinar la viabilidad de dichos materiales para esta aplicación.

Metodología:

El trabajo comenzará realizando una revisión bibliográfica del uso de los composites de óxidos metálicos en las aplicaciones mencionadas, haciendo hincapié en los procesos de crecimiento, distintas arquitecturas y combinaciones de materiales más adecuados para tal fin. A continuación, se explorará la posibilidad de obtener este tipo de estructuras haciendo uso de las técnicas disponibles en el laboratorio. Finalmente, dependiendo del transcurso del trabajo, se realizará algún experimento de crecimiento, caracterización y fotocatalisis o sensado con dichas composites.

Bibliografía:

C. Karthikeyan, P. Arunachalam, K. Ramachandran, A. M. Al-Mayouf, S. Karuppuchamy,, Journal of Alloys and Compounds, 828 (2020) 154281

G. Korotcenkov, B.K. Cho, Sensors and Actuators B: Chemical, 244 (2017) 182



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Nanomagnetismo tridimensional	
Title:	3D Nanomagnetism	
Supervisor/es:	Lucas Pérez García	
E-mail supervisor/es	lucas.perez@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

- Entender, a partir de los conocimientos de Física del Estado Sólido, la física relacionada con el magnetismo en la nanoescala.
- Conocer el estado de la investigación actual en algún aspecto particular del nanomagnetismo en sistemas tridimensionales.

Metodología:

Desde hace unos años, las nanoestructuras magnéticas están revolucionando distintos aspectos de la vida diaria. En los últimos años, el nanomagnetismo se está expandiendo hacia el estudio de sistemas tridimensionales, donde es posible encontrar nuevas configuraciones magnéticas con propiedades físicas emergentes.

Para la realización de este trabajo será necesario, inicialmente, extender los conocimientos de magnetismo estudiados en Física del Estado Sólido al análisis de nanosistemas. Posteriormente, se plantean posibles aproximaciones entre las que el o la estudiante deberá elegir al menos una:

- Fabricación y caracterización de sistemas magnéticos tridimensionales
- Nuevas texturas de espín asociadas a la tercera dimensión
- Dinámica de imanación en nanoobjetos curvos

Bibliografía:

- J. M. D. Coey. Magnetism and Magnetic Materials. Cambridge University Press.
- A. Fernandez-Pacheco et al. Nature Comm. 8 (2017) 15756



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Midiendo campos magnéticos neurales
Title:	Measuring neural magnetic fields
Supervisor/es:	Lucas Pérez García
E-mail supervisor/es	Lucas.perez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

- Realizar una revisión de los distintos sistemas utilizados hasta la fecha para la detección de campos magnéticos producidos por el sistema nervioso.
- Entender los principios físicos que hay detrás de los distintos dispositivos utilizados: efecto Josephson, efecto Faraday, magnetorresistencia...

Metodología:

El trabajo tendrá dos partes:

- Revisión bibliográfica de los distintos sistemas, comerciales y en desarrollo, que se utilizan para la detección de campos neurales, tanto in-vitro como in-vivo. La revisión incluirá Magnetoencefalografía con SQUIDs y con sensores de bombeo óptico, así como sensores de estado sólido basados en espintrónica.
- Descripción breve, utilizando los conocimientos adquiridos en las distintas asignaturas del Grado (fundamentalmente Electromagnetismo, Óptica y Física del Estado Sólido) de los distintos conceptos físicos utilizados para la medida de estos campos.

Bibliografía:

- J. M. D. Coey. Magnetism and Magnetic Materials. Cambridge University Press.
- M. Proudfoot et al. Pract Neurol 14 (2014) 336
- Elena Boto et al. Nature 255 (2018) 657
- L. Caruso et al. Neuron 95 (2017) 1283



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Técnicas avanzadas de microscopía aplicadas a la ciencia de materiales	
Title:	Advanced microscopy techniques applied to materials science	
Supervisor/es:	María Varela del Arco, Alejandra Guedeja-Marrón Gil	
E-mail supervisor/es	mvarela@ucm.es, aguedeja@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es explorar el estado del arte en que se encuentran actualmente diversas técnicas de microscopía y espectroscopía electrónicas, aplicadas principalmente al estudio de materiales avanzados. Ejemplos pueden incluir la aplicación de microscopía con corrección de aberración esférica al estudio de materiales de relevancia tecnológica, nuevas técnicas espectroscópicas como el dicroísmo de electrones, caracterización de nanomateriales, microscopía in-situ, medida de campos eléctricos con resolución atómica, microscopía electrónica en 4D, técnicas avanzadas de análisis de datos (incluyendo rutinas de *deep learning*, *big data*, inteligencia artificial, etc) u otras.

Metodología:

El carácter del trabajo podrá incluir tanto revisión de literatura como desarrollo de facetas experimentales o teóricas del tema. Los aspectos específicos se discutirán y decidirán entre supervisor y estudiante.

Bibliografía:

"Scanning transmission electron microscopy", Stephen J. Pennycook & Peter Nellist. Springer, 2011. ISBN 978-1-4419-7200-2



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Radiación Hawking en gases cuánticos	
Title:	Hawking radiation in quantum gases	
Supervisor/es:	Juan Ramón Muñoz de Nova, Fernando Sols	
E-mail supervisor/es	jrmnova@fis.ucm.es , f.sols@fis.ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Familiarizarse con los conceptos básicos de condensación de Bose-Einstein en gases diluidos, llegando hasta el concepto de cuasipartícula de Bogoliubov. Se estudiará el scattering de cuasipartículas en interfases subsónica-supersónica (horizontes de sucesos acústicos) y la emisión espontánea de radiación de Hawking asociada. En una ruta del TFG, se estudiarán estructuras resonantes y la violación de desigualdades clásicas. En otra ruta, se analizará la metodología experimental, como la medida de correlaciones de densidad entre ambos lados del horizonte acústico.

Metodología:

La teoría de Bogoliubov es la primera corrección a la teoría de campo medio (Gross-Pitaevskii) para un condensado. Se resolverán las ecuaciones de Bogoliubov para un condensado en una serie de horizontes de sucesos acústicos. Aplicando técnicas de empalme de la función de onda, se calculará el espectro de la radiación Hawking. El trabajo es esencialmente analítico, recurriendo a técnicas numéricas cuando sea necesario.

Bibliografía:

- [1] I. Zapata, M. Albert, R. Parentani, **F. Sols**, *Resonant Hawking radiation in Bose-Einstein condensates*. **New J. Phys.** **13**, 063048 (2011).
- [2] **J. R. M. de Nova**, K. Golubkov, V. I. Kolobov, J. Steinhauer, *Observation of thermal Hawking radiation and its temperature in an analogue black hole*. **Nature** **569**, 688 (2019).

[3] V. I. Kolobov, K. Golubkov, **J. R. M. de Nova**, J. Steinhauer, *Observation of stationary spontaneous Hawking radiation and the time evolution of an analogue black hole*. **Nature Physics** **17**, 362 (2021).

[4] **J. R. M. de Nova**, P. F. Palacios, I. Carusotto, **F. Sols**, *Long time universality of black hole lasers*. **New J. Phys.** **23**, 023040 (2021).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Diagrama de fase para estados de Hall cuánticos enteros en grafeno	
Title:	Phase diagram for integer quantum Hall states in graphene	
Supervisor/es:	Juan Ramón Muñoz de Nova	
E-mail supervisor/es	jrmnova@fis.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Familiarizarse con los conceptos básicos de la física de electrones en grafeno, principal material bidimensional, así como con uno de los problemas fundamentales de la mecánica cuántica, el problema de Landau de una carga en presencia de un campo magnético uniforme. Se resolverá el problema de Landau en grafeno, con el objetivo de estudiar el diagrama de fases para los estados de Hall cuánticos enteros dentro del nivel cero de Landau, un problema extremadamente rico debido al gran número de grados de libertad (orbitales, espín, valle...) presentes y de gran interés en la actualidad debido a su reciente observación directa.

Metodología:

Se estudiará en primer lugar el problema de Landau, resolviendo la correspondiente ecuación de Schrödinger analíticamente. Después, se estudiará el problema de Landau dentro del modelo efectivo del grafeno a bajas energías. Utilizando la aproximación de campo medio de Hartree-Fock, dichos resultados se aplicarán al estudio del diagrama de fases para los estados de Hall cuánticos enteros dentro del nivel cero de Landau. Se espera que el trabajo sea completamente analítico.

Bibliografía:

- [1] M. Katsnelson, *Graphene: Carbon in Two Dimensions* (Cambridge: Cambridge University Press, 2012).
- [2] M. Kharitonov, *Phase diagram for the $\nu=0$ quantum Hall state in monolayer graphene*. **Phys. Rev. B** **85**, 155439 (2012).

[3] **J. R. M. de Nova**, I. Zapata, *Symmetry characterization of the collective modes of the phase diagram of the $\nu=0$ quantum Hall state in graphene: Mean-field and spontaneously broken symmetries*. **Phys. Rev. B** **95**, 165427 (2017).

[4] A. Coissard *et al.*, *Imaging tunable quantum Hall broken-symmetry orders in graphene*. **Nature** **605**, 51 (2022).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Cristales temporales continuos en estados SMBF	
Title:	Continuous time crystal from an SMBF state	
Supervisor/es:	Juan Ramón Muñoz de Nova, Fernando Sols	
E-mail supervisor/es	jrmnova@fis.ucm.es , f.sols@fis.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Familiarizarse con el concepto de Hamiltoniano de Floquet, cristal temporal y de estado espontáneo de muchos cuerpos de Floquet (SMBF por sus siglas en inglés). Se analizará la viabilidad de estados SMBF en sistemas canónicos de muchos cuerpos. Se estudiará el caso particular del estado CES (Continua Emisión de Solitones) en un condensado atómico, identificando sus propiedades de cristal temporal.

Metodología:

En primer lugar, se realizará una introducción a la descripción en segunda cuantización de Hamiltonianos de muchos cuerpos. Se estudiará el *ansatz* de Dirac-Frenkel en casos canónicos (Gross-Pitaevskii, Hartree-Fock, Gutzwiller). Importando conceptos de Hamiltonianos de Floquet, se analizará la posible emergencia de estados SMBF en dichos casos. Se simulará la evolución temporal y formación del estado CES en un condensado atómico. Con la ayuda de la literatura sobre cristales temporales, se identificarán las propiedades cristalinas del estado CES. El trabajo es esencialmente analítico, recurriendo a técnicas de integración numéricas (Crank-Nicolson, TSFD) en la etapa final para el estudio del estado CES.

Bibliografía:

- [1] F. Wilczek, *Quantum time crystals*. **Phys. Rev. Lett.** **109**, 160401 (2012).
- [2] J. Zhang *et al.*, *Observation of discrete time-crystalline order in a disordered dipolar many-body system*. **Nature** **543**, 217 (2017).

[3] **J. R. M. de Nova, F. Sols**, *Continuous-time crystal from a spontaneous many-body Floquet state*. **Phys. Rev. A** **105**, 043302 (2022).

[4] P. Kongkhambut *et al.*, *Observation of a continuous time crystal*. **Science** **377**, 670 (2022).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Interacciones en grafeno	
Title:	Interactions in graphene	
Supervisor/es:	Fernando Sols	
E-mail supervisor/es	f.sols@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Se trata de familiarizar al alumno/a con los conceptos básicos de la física de electrones en grafeno, principal materia bidimensional, como ejemplo representativo del problema de muchos cuerpos en sistemas fermiónicos. El *scattering* mutuo de dos electrones aislados en grafeno tiene una resonancia específica tipo Feshbach que solo ocurre en grafeno o materiales similares. Se estudiará dicha resonancia y la posibilidad de que sobreviva en presencia de otros electrones (mar de Fermi lleno). También se estudiará la interacción de electrones en grafeno en presencia de un sustrato piezoeléctrico.

Metodología:

Se utilizarán técnicas de la teoría cuántica de muchos cuerpos aplicadas a sistemas fermiónicos en dos dimensiones. En particular se verá cómo la resolución de la ecuación de Bethe-Salpeter puede arrojar luz sobre las colisiones entre dos electrones en presencia de la red del grafeno y de un mar de Fermi. Para el caso de electrones en grafeno sobre un sustrato, se utilizará la teoría del apantallamiento dinámico. El trabajo incluirá desarrollos analíticos que serán la base de algunos cálculos numéricos.

Bibliografía:

A L Fetter, J D Walecka, *Quantum theory of many-particle systems* (McGraw-Hill, New York, 1971).
M I Katsnelson, *Graphene, carbon in two dimensions* (Cambridge University Press, Cambridge, 2012).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Problema de dos partículas en sistemas dirigidos con interacciones exóticas	
Title:	Two-particle problem in driven systems with exotic interactions	
Supervisor/es:	Charles Creffield, Fernando Sols	
E-mail supervisor/es	c.creffield@fis.ucm.es, f.sols@fis.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

En primer lugar, familiarizaremos al alumno/a con los conceptos básicos de condensación de Bose-Einstein y de átomos fríos en una red óptica. A continuación, consideraremos el caso en el que el Hamiltoniano es "dirigido", es decir un parámetro del sistema se varía periódicamente en el tiempo a alta frecuencia. En esta situación, a escalas de tiempo largas el sistema puede ser descrito por un modelo efectivo estático. El alumno/a estudiará el problema de dos partículas con la exótica interacción que resulta de hacer oscilar la energía de salto con promedio temporal cero. El alumno/a aprenderá conceptos y técnicas de teoría cuántica de muchos cuerpos, así como métodos numéricos para la resolución analítica o numérica del problema de dos bosones o fermiones con interacciones.

Metodología:

Se realizarán cálculos analíticos para entender cómo es la dinámica efectiva de átomos sometidos a variaciones periódicas en un parámetro del Hamiltoniano, utilizando el análisis de Floquet. En el trabajo numérico se diagonalizará el Hamiltoniano efectivo para un sistema de dos partículas y se analizarán el estado fundamental y los primeros estados excitados.

Bibliografía:

A J Leggett, Quantum Liquids (Oxford University Press, Oxford, 2006).

G Pieplow, C E Creffield, F Sols, Protected cat states from kinetic driving of a boson gas, Phys. Rev. Research 1, 033013 (2019).

J Mateos, C E Creffield, F Sols, Superfluidity from correlations in driven boson systems, New J. Phys. (in press); arXiv:2212.12881 (2022).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Soluciones exactas de problemas de muchos cuerpos obtenidas mediante el ansatz de Bethe.	
Title:	Exact solutions of many-body problems obtained through "Bethe Ansatz".	
Supervisor/es:	Charles Creffield, Fernando Sols	
E-mail supervisor/es	c.creffield@fis.ucm.es, f.sols@fis.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

En 1931 Hans Bethe propuso un método original para construir las funciones propias del Hamiltoniano cuántico de una cadena de espín de Heisenberg. Este método ahora se llama "Bethe Ansatz" y tiene una amplia aplicación en diferentes áreas de la física para encontrar soluciones exactas a sistemas unidimensionales de partículas con interacciones. El estudiante aprenderá cómo construir las soluciones BA para varias clases de modelos 1D, incluidas las cadenas de espín y el modelo Lieb-Liniger, y cómo aplicar la técnica a otros sistemas integrables.

Metodología:

El estudiante comenzará haciendo un resumen de la literatura sobre el BA, empezando por los trabajos originales de Bethe y prestando especial atención a los problemas de bosones unidimensionales. Calculará soluciones exactas utilizando sistemas de álgebra simbólica como Mathematica o Maple, y comparará los resultados con la diagonalización numérica del hamiltoniano del sistema.

Bibliografía:

H.A. Bethe, Z. Phys 71, 205 (1931).
Michael Karbach and Gerhard Muller, Introduction to the Bethe ansatz, arXiv:cond-mat/9809162
V. E. Korepin, N. M. Bogoliubov, A. G. Izergin, Quantum Inverse Scattering Method and Correlation Functions, Cambridge Univ. Press (1993).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Estelas cuánticas en cadenas de espines	
Title:	Quantum wakes in quenched spin-chains	
Supervisor/es:	Charles Creffield	
E-mail supervisor/es	c.creffield@fis.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Las cústicas son singularidades que ocurren en campos tales como la óptica, la hidrodinámica y la mecánica cuántica. El arcoíris y las líneas brillantes en los suelos de las piscinas son ejemplos cotidianos. Una propiedad notable de las cústicas es que adoptan formas características, descritas por la teoría de las catástrofes.

El alumno estudiará la formación de cústicos en cadenas de espines. Estas se producen cuando un espín del estado fundamental está invertido, y aparecen como excitaciones que se propagan desde dicho espín con la forma de una estela. Para tratar el problema el alumno se familiarizará con las técnicas de simulación de sistemas mecánicos cuánticos. Simultáneamente adquirirá conocimientos de los temas básicos de la teoría de catástrofes.

Metodología:

El alumno comenzará haciendo un resumen de la literatura sobre la formación de cústicos en sistemas de materia condensada. Luego aprenderá a simular estos sistemas mediante la integración numérica de la ecuación de Schrödinger e interpretará los resultados aplicando métodos de la teoría de las catástrofes.

Bibliografía:

W. Kirkby, J. Mumford, and D. H. J. O'Dell, *Quantum caustics and the hierarchy of light cones in quenched spin chains*, Phys. Rev. Research 1, 033135 (2019).

M. Berry, *Singularities in Waves and Rays* in Les Houches, Session XXXV, 1980 Physics of Defects, edited by R. Balian.

M. Cheneau, et al., *Light-cone-like spreading of correlations in a quantum many-body system*, Nature (London) 481, 484 (2012).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Adaptar el instrumento PPMS a medidas de resistencia en condiciones extremas	
Title:	Adapting the PPMS instrument to resistance measurements in extreme conditions	
Supervisor/es:	Norbert M. Nemes	
E-mail supervisor/es	nmnemes@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

Objetivos:

El instrumento comercial PPMS de Quantum Design Inc. se usa en la mayoría de laboratorios punteros a nivel mundial y nacional. El instrumento es capaz de medir resistencias entre microOhm y MOhm, entre 2 y 400 K, en varios campos magnéticos. No obstante, a menudo es necesario medir resistencias de mayor valor, y/o en temperaturas más elevadas. Además, el instrumento es relativamente fácil de adaptar a medidas parcialmente equivalentes a van der Pauw para evaluar resistividad y efecto Hall simultáneamente, empleando cuatro canales de medida, en casos de que el magnetotransporte es asimétrico en campo, por ejemplo, en presencia de Exchange bias, o para estudiar la curva virgen del efecto anómalo Hall, o para estudiar el efecto Hall de muestras de alta resistencia que drifteen con tiempo/temperatura. Es también de alto interés medir materiales solo disponibles en forma de polvo, que son difíciles de prensar a un pellet sólido.

El objetivo de este TFG es diseñar e implementar adendas al instrumento para extender sus habilidades de medida de transporte eléctrico.

Metodología:

La metodología consiste en 1. diseño, 2. fabricación, 3. experimentos, 4. análisis de datos, de manera circular: primero se diseña un esquema/circuito de medida de resistencia empleando la fuente de corriente y nanovoltímetro del PPMS para adaptarlo a medir resistencias en varias condiciones extremas en el rango de MOhm-GOhm, que la electrónica de PPMS no está diseñado a medir. Para eso se implementa un circuito que invierte los papeles de fuente de corriente y medidor de voltaje del PPMS. Para medir simultáneamente todos los valores del protocolo van der Pauw, se implementa un circuito que reparte entre los 4 canales de la

electrónica del PPMS el canal de la muestra. Para medir muestras en polvo, se adapta el insert existente del PPMS de altas presiones. Se lleva a cabo experimentos (medidas) con este esquema, y se compara los resultados con valores medidos por un instrumento dedicado. A base de los resultados se mejora el diseño, y se fabrica un dispositivo más estable, que se procede a evaluar experimentalmente.

2 plazas: ambos alumnos eligen de manera diferenciada entre los tres temas indicados.

Bibliografía:

-Physical Property Measurement System, Resistivity Option User's Manual 1076-100-B0, Quantum Design. Inc.

-van der Pauw, L.J. (1958). "A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape" (PDF). Philips Research Reports. 13: 1–9.

-van der Pauw, L.J. (1958). "A method of measuring the resistivity and Hall coefficient on lamellae of arbitrary shape" (PDF). Philips Technical Review. 20: 220–224.

- Powder measuring system PD-600 <https://www.nh-instruments.de/pulvermesssystem/>

- Physical Property Measurement System, Pressure Cell (Transport) https://www.qdusa.com/siteDocs/productBrochures/1084-500_PPMS_Pressure_Cell_Transport.pdf



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Transferencia de energía en sistemas desordenados con interacción de largo alcance a baja temperatura.	
Title:	Low temperature energy transfer in disordered systems with long range interaction	
Supervisor/es:	Andrey Malyshev	
E-mail supervisor/es	a.malyshev@fis.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

Objetivos:

Familiarizar al alumno con las técnicas de la física teórica de la materia condensada y sistemas desordenados, en relación con transporte electrónico o transferencia de energía en sistemas con interacción de largo alcance, como pueden ser macromoléculas orgánicas con la interacción dipolar. Utilizando los razonamientos fenomenológicos, analizar cualitativamente posibles regímenes de transferencia de energía a nivel analítico. Posteriormente, hacer cálculos numéricos, compararlos con los resultados analíticos y analizarlos.

Metodología:

El estudiante comenzará haciendo un breve resumen de la literatura sobre aproximaciones, métodos y sistemas a estudiar: sistemas desordenados en general y aquellos con interacción de largo alcance, metodología de la teoría de scaling y fenomenología. Usando dichas técnicas, obtendrá el análogo de la ley de Mott o de Efros-Shklovskii (para la dependencia de la conductividad de la temperatura) en el caso de sistemas con interacción de largo alcance. Podrá utilizar sistemas de álgebra simbólica, como Mathematica, para hacer cálculos analíticos. Posteriormente, utilizando los códigos que tenemos, empezará a hacer cálculos numéricos de dinámica de excitones de Frenkel en sistemas orgánicos (por ejemplo, agregados moleculares) para poder obtener resultados que podrá comparar con los analíticos, analizarlos, y familiarizarse mejor con el problema y aprender técnicas de análisis de datos.

Bibliografia:

N. F. Mott, "Conduction in non-crystalline materials". Philosophical Magazine. Informa UK Limited. 19 (160): 835–852 (1969)

A. L. Efros, B. I. Shklovskii, Coulomb gap and low temperature conductivity of disordered systems, J. Phys. C: Solid State Phys, 8, L49 (1975)