FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Superconductores topológicos bajo campos eléctricos alternos
Title:	Topological superconductors subject to time-harmonic electric fields
Tutor/es:	Francisco Domínguez-Adame Acosta y Dunkan Martínez Camacho
E-mail tutor/es:	adame@ucm.es, dunmar01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El principal objetivo de este trabajo de fin de grado es familiarizar al/ a la alumno/a con la investigación actual en física teórica de la materia condensada, en relación con los superconductores topológicos. De esta manera, aprenderá los fundamentos de los distintos modelos empleados hoy día para describir los estados electrónicos de estos materiales, como por ejemplo la aparición de fermiones de Majorana en materiales híbridos superconductor/semiconductor. Se prestará especial atención a la respuesta de los materiales híbridos a campos eléctricos externos dependientes armónicamente del tiempo, con el objetivo de analizar su efecto sobre los fermiones de Majorana.

Metodología:

En una primera fase del trabajo, el/la alumno/a accederá la bibliografía que se le proporcione, y que necesaria para profundizar en las características generales de los superconductores topólogicos [1] y en la física de los estados electrónicos de los materiales bajo campos alternos [2]. Posteriormente se analizará el impacto de los campos alternos en los modos de Majorana a energía cero, empleando para ello la cadena de Kitaev [3]. Se planteará al/ a la alumno/a que reproduzca algunos cálculos disponibles en la literatura para mejorar su comprensión de los fenómenos físicos estudiados. Más adelante, se le propondrá abordar problemas similares para que demuestre las habilidades adquiridas hasta el momento.

La estrategia metodológica a seguir para realizar los cálculos de comprobación será similar a la empleada en la Ref. [4] para resolver problemas similares en cadenas de Su–Schrieffer–Heeger. Los resultados del cálculo numérico realizado mediante la diagonalización directa del Hamiltoniano se compararán con los obtenidos mediante algunas aproximaciones analíticas previamente desarrolladas en el grupo. Si el avance del trabajo lo permite, se podrá estudiar el impacto del desorden en un modelo enlace fuerte que se utiliza para estudiar semiconductores en proximidad a un superconductor topológico [5].

Bibliografía:

[1] B. A. Bernevig, Topological insulators and topological superconductors (Princeton University Press, 2013).
[2] T. Oka y S. Kitamura, Floquet engineering of quantum materials, Annual Review of Condensed Matter Physics 10, 387 (2019).
[3] H. Pan and S. Das Sarma, Disorder effects on Majorana zero modes: Kitaev chain versus semiconductor nanowire, Physical Review B 103, 224505 (2021).
[4] A. Gómez-León y G. Platero, Floquet-Bloch theory and topology in periodically driven lattices, Physical Review Letters 110, 200403 (2013).
[5] D. Martínez, Y. Baba y F. Domínguez-Adame, Treating disorder in introductory solid state physics, American Journal of Physics 91, 812 (2023).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Materiales magnéticos para la energía
Title:	Magnetic materials for energy
Tutor/es:	Rocío Ranchal Sánchez
E-mail tutor/es:	rociran@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo general de este TFG es alcanzar un conocimiento más profundo sobre tanto el tipo de materiales magnéticos como los procesos de fabricación que actualmente se utilizan para poder utilizarlos en aplicaciones para energía. De acuerdo a los intereses del/de la estudiante que elija este TFG, se realizará un estudio solo bibliográfico o se ampliará con trabajo experimental.

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 la fabricación de materiales mediante el método cerámico. La caracterización se realizará mediante difracción de rayos-X, microscopía electrónica de barrido o 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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Materiales bidimensionales basados en óxidos: retos actuales y perspectivas de aplicación
Title:	Oxide-based 2D materials: challenges and roadmap for applications
Tutor/es:	David Maestre y Ana Cremades
E-mail tutor/es:	dmaestre@ucm.es, anaiscre@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Realizar una revisión bibliográfica de la investigación actual centrada en los óxidos metálicos bidimensionales.
- Estudiar los retos actuales y perspectivas de futuro de estos materiales, así como las aplicaciones basadas en ellos.
- Estudio experimental basado en la síntesis y caracterización de algunos ejemplos de óxidos metálicos en forma 2D y nano-membranas. En la caracterización se emplearán técnicas de microscopía electrónica y diversas espectroscopías tales como catodoluminiscencia, fotoluminiscencia y espectroscopía Raman, entre otras.

Metodología:

- Aprendizaje de herramientas de búsqueda bibliográfica.
- Organización y análisis de la información recogida y revisión bibliográfica.
- Introducción a la investigación y el método científico.
- Formación en técnicas de síntesis de nanomateriales y en técnicas de caracterización.
- Discusión y análisis de resultados.

Bibliografía:

[1] M. Shrivastava y V. Ramgopal Rao. "A Roadmap for Disruptive Applications and Heteroge-neous Integration Using Two-Dimensional Materials: State-of-the-Art and Technological Chal-lenges", Nano Lett. 21, 6359 (2021).

[2] P. Kumbhakar, C. C. Gowda, P.L. Mahapatra et al. "Emerging 2D metal oxides and their applications". Materials Today, 45, 142-168 (2021)

[3] S. Kaushik y R. Singh. "2D Layered Materials for Ultraviolet Photodetection: A Review", Adv. Optical Mater. 9, 2002214 (2021).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Técnicas avanzadas de microscopía aplicadas al estudio de nuevos materiales
Title:	Advanced microscopy techniques applied to cutting-edge material systems
Tutor/es:	María Varela del Arco y Gabriel Sánchez Santolino
E-mail tutor/es:	mvarela@ucm.es, gsanchezsantolino@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es explorar el estado del arte en que se encuentran actualmente diversas técnicas de microscopía y espectroscopía, 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, otras microscopías, 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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Propiedades Electronicas de Gases de Electrones Bidimensionales en KTaO3
Title:	Electronic Properties of KTaO3 Two Dimensional Electron Gases
Tutor/es:	Flavio Bruno
E-mail tutor/es:	fybruno@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

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. [1,4]
2.- Síntesis de gases bidimensionales y medidas de magneto-transporte de los sistemas simulados en el punto anterior. [2,3]
Se pondrá más énfasis en la parte experimental o parte de simulación dependiendo del interés del alumno.

Bibliografía:

[1] Computer Physics Communications 284, 108595 (2023). https://doi.org/10.1016/j.cpc.2022.108595 (descripción de simulaciones).

[2] Advanced Electronic Materials 210376 (2022). https://doi.org/10.1002/aelm.202300267 (comparación de simulación con datos experimentales)

[3] Applied Surface Science, 689, 162499 (2025) https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2025.162499 (medidas de transporte electrónico y caracterización estructural del 2DEG)

[4] arXiv:1612.03571 (2016). https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.03571 (descripción de gases de electrones bidimensionales)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Inestabilidades dinámicas de superfluidos dirigidos
Title:	Dynamical instabilities of driven superfluids
Tutor/es:	Charles Creffield
E-mail tutor/es:	c.creffield@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Los condensados de Bose-Einstein en redes ópticas son buenos candidatos para servir como simuladores cuánticos. Una técnica llamada "ingeniería de Floquet" permite manipular las propiedades de un sistema variando un parámetro periódicamente en el tiempo a alta frecuencia. Sin embargo, esto hace que el sistema se caliente, produciendo inestabilidades dinámicas. El alumno estudiará primero el fenómeno de la condensación de Bose-Einstein y cómo se pueden describir sus inestabilidades utilizando las ecuaciones de Bogoliubov-de Gennes (BdG). Luego estudiará cómo se puede tratar el caso en que el sistema depende del tiempo para determinar los regímenes de parámetros en el que se minimiza el calentamiento.

Metodología:

Inicialmente analizará una extensa bibliografía sobre el método de Floquet y la obtención de las ecuaciones de BdG. Realizará cálculos analíticos, primero para el caso estático y luego para el caso dependiente del tiempo. Finalmente, utilizando MatLab o software similar, tratará el caso de un sistema dirigido periódicamente en el tiempo con el objetivo de evaluar numéricamente las regiones de inestabilidad dinámica.

Bibliografía:

C.J. Pethick and H. Smith, “Bose–Einstein Condensation in Dilute Gases” (Cambridge University Press, 2011).

S. Lellouch, M. Bukov, E. Demler, and N. Goldman, “Parametric Instability Rates in Periodically Driven Band Systems”, Phys. Rev. X 7, 021015 (2017).

A. Di Carli *et al.*, "Instabilities of interacting matter waves in optical lattices with Floquet driving", Phys. Rev. Res. 5, 033024 (2023).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

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
Tutor/es:	Charles Creffield, Fernando Sols
E-mail tutor/es:	c.creffield@fis.ucm.es, f.sols@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

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 del modelo efectivo. El alumno/a aprenderá conceptos y técnicas de teoría cuántica de muchos cuerpos, para la resolución analítica o numérica del problema de dos bosones 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. 25, 063006 (2023).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Cristales temporales continuos en estados espontáneos de Floquet
Title:	Continuous time crystals in spontaneous Floquet states
Tutor/es:	Fernando Sols
E-mail tutor/es:	f.sols@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Familiarizarse con el concepto de hamiltoniano de Floquet, cristal temporal y estado espontáneo de Floquet. Se analizará la viabilidad de estados espontáneos de Floquet en sistemas canónicos de muchos cuerpos, prestando especial atención al caso particular de un condensado atómico. Se estudiarán conceptos novedosos como conexión de Berry-Gibbs, Termodinámica de Floquet, ruptura espontánea de simetría de traslación temporal y su correspondiente modo de Floquet-Nambu-Goldstone temporal, cuya amplitud proporciona una realización única de un operador de tiempo en Mecánica Cuántica.

Metodología:

Tras una introducción a la descripción en segunda cuantización de hamiltonianos de muchos cuerpos, se estudiará el *ansatz* de Dirac-Frenkel en casos canónicos como Gross-Pitaevskii o Hartree-Fock. Utilizando el conocimiento existente de hamiltonianos de Floquet, se analizará la posible emergencia de estados espontáneos de Floquet en dichos casos. Invocando conceptos de Mecánica Cuántica, Teoría de Grupos, Geometría Diferencial, Física Estadística y Teoría Cuántica de Campos se estudiará en detalle el ejemplo de un condensado atómico, concentrándose finalmente en el denominado estado CES. Se espera que el trabajo sea esencialmente analítico.

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. Muñoz 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).

[5] J. R. Muñoz de Nova, F. Sols, *Simultaneous symmetry breaking in spontaneous Floquet states: Floquet-Nambu-Goldstone modes, Floquet thermodynamics, and the time operator.*

arXiv:2402.10784 (2024).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Interacciones en grafeno
Title:	Interactions in graphene
Tutor/es:	Fernando Sols
E-mail tutor/es:	f.sols@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Nano-dispositivos para sistemas de computación
Title:	Nano-devices for Computing
Tutor/es:	Miguel Romera y Lucas Perez
E-mail tutor/es:	miromera@ucm.es, lucas.perez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Se elegirá entre dos opciones:

1) Aprender los conceptos básicos de la Computación Neuromórfica (CN), incluyendo las propiedades principales de neuronas y sinapsis artificiales, redes neuronales, etc. Comprender los fenómenos físicos más prometedores para la CN de tecnologías con gran potencial como la electrónica de óxidos o la espintrónica.

2) Aprender los conceptos básicos de la electrónica de espín (espintrónica) y sus aplicaciones en sistemas de computación: transporte dependiente, magnetorresistencia gigante y túnel, efecto de tranferencia de espín.

Metodología:

El carácter del trabajo será principalmente bibliográfico, pudiendo incluir otros aspectos como la profundización en las aplicaciones de los efectos y dispositivos estudiados o el desarrollo de facetas experimentales. Los aspectos específicos se decidirán entre los supervisores y el 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

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Nanomagnetismo tridimensional
Title:	3D Nanomagnetism
Tutor/es:	Lucas Pérez
E-mail tutor/es:	lucas.perez@ucm.es
Número de plazas:	3
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

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

Metodología:

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 dos posibilidades de metodología a elegir por los o las estudiantes que elijan este tema.

1.- Trabajo bibliográfico: a partir de publicaciones recientes, se desarrollarán uno o varios de los siguientes temas:

(a) fabricación y caracterización de sistemas magnéticos tridimensionales.
(b) nuevas texturas de espín asociadas a la extensión del magnetismo a la tercera dimensión.
(c) dinámica de imanación en sistemas curvos.
(d) aplicaciones del magnetismo tridimensional: almacenamiento de información y sistemas lógicos.

2.- Realización de cálculos de simulaciones micromagnéticas en algunos nanosistemas sencillos.

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Midiendo campos magnéticos neurales
Title:	Measuring neural magnetic fields
Tutor/es:	Lucas Pérez García
E-mail tutor/es:	lucas.perez@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

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

Metodología:

El estudiante con el trabajo asignado tendrá que elegir una de estas dos temáticas:
.- Detección de campos magnéticos en la práctica clínica: magnetoencefalografía.
.- Detección de campos magnéticos con dispositivos en fase experimental.

En ambos casos el trabajo constará de dos partes:

1. Revisión bibliográfica de los distintos sistemas que se utilizan para la detección de campos neurales.

2. 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
E. Boto et al. Nature 255 (2018) 657
L. Caruso et al. Neuron 95 (2017) 1283

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	BEEM
Title:	BEEM
Tutor/es:	César González
E-mail tutor/es:	cesar.gonzalez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

¿Qué es un microscopio BEEM: Microscopio de emisión de electrones balísticos? [1] ¿Cuáles son sus modos de operación? ¿Para qué es útil? ¿Qué es una barrera Schottky?¿Qué teoría hay detrás de este microscopio y cómo se pueden hacer simulaciones?

El objetivo de este TFG es responder a estas preguntas y comprender la importancia del BEEM para el estudio de las barreras Schottky en intercaras metal/semiconductor [2]. También tiene un potencial interés en el estudio de las válvulas de spin. Además, el alumno o la alumna se familiarizará con la metodología de funciones de Green necesaria para llevar a cabo las simulaciones teóricas que complementan a los experimentos.

Metodología:

Este TFG tiene un caracter completamente bibliográfico donde el alumna o el alumno hará una revisión del microscopio BEEM y sus diferentes aplicaciones en el estudio de una intercara metal-semiconductor.
También podrá mostrar una perspectiva sobre su posible uso para el estudio de válvulas de espin u otras estructuras más novedosas incluyendo moléculas orgánicas.
El trabajo tiene un fuerte componente teórico donde se aprenderá el complejo formalismo matemático de funciones de Green fuera del equilibrio desarrollado por Keldysh.

Bibliografía:

[1] "Ballistic-electron emission microscopy (BEEM): studies of metal/semiconductor interfaces with nanometer resolution" Mario Prietsch. Physics Reports 253, 163-233 (1995)
[2] "Accurate ab initio determination of ballistic electron emission spectroscopy: Application to Au/Ge" A Gerbi, C González, et al Physical Review B 98 (20), 205416

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Cambio en las propiedades electrónicas de los materiales bidimensionales mediante deformación mecánica
Title:	Change of the electronic properties in mechanically-deformed 2D materials
Tutor/es:	César González
E-mail tutor/es:	cesar.gonzalez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

¿Qué sucede cuando se estira un material 2D como el grafeno[1]? ¿Se rompe fácilmente? ¿Qué ocurre con sus propiedades electrónicas? ¿Se convertirá el material en más reactivo? ¿Se formará una cadena mono-atómica antes de la ruptura? ¿Cómo se verá afectado por la inclusión de impurezas u otros defectos? En el TFG se aprenderá a usar la teoría del funcional de la densidad mediante el uso del código FIREBALL [2] para dar respuesta a estas preguntas. Por tanto, como objetivo primordial, se comenzará estudiando y comprendiendo los detalles y las aproximaciones de la metodología teórica.

Metodología:

Se comenzará reproduciendo la estructura atómica y electrónica característica del grafeno, del MoS2 y/o del BN. Se dopará el material con diferentes elementos: B, N, O, C o Si. Se irá estirando el material en pequeños pasos hasta llegar a su ruptura. De esta forma obtendremos la estructura atómica de todo el proceso. A su vez, se estimará la Densidad de Estados (DOS) en los sucesivos pasos para comprobar el cambio de la estructura electrónica. Finalmente, se podrán colocar moléculas (H2, O2 o CO2) cerca de los puntos de ruptura para comprobar si el cambio en la reactividad. En todas estas simulaciones, se usará la teoría del funcional de la densidad como está implementada en el código FIREBALL [2].
Este TFG es continuación de un trabajo previo, con lo que será interesante partir de los resultados ya obtenidos anteriormente [3].
Para desarrollar este trabajo es conveniente tener conocimiento del sistema operativo Linux y programación en python o/y shell-script.

Bibliografía:

[1] "A review of nitrogen-doped carbon materials for lithium-ion battery anodes" M. Shaker, et al New Carbon Materials, 38(2): 247-282 (2023)
[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] "Estirando el grafeno" TFG Manuel Lozano. Julio 2024

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Estados electrónicos del ADN en presencia de desorden
Title:	Electronic states of DNA in the presence of disorder
Tutor/es:	Francisco Domínguez-Adame Acosta y Dunkan Martínez Camacho
E-mail tutor/es:	adame@ucm.es, dunmar01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El ADN, además de su papel biológico fundamental, ha sido considerado como un posible conductor molecular de carga eléctrica. Sin embargo, las propiedades electrónicas del ADN son extremadamente sensibles al desorden estructural y ambiental. Este trabajo tiene como finalidad estudiar cómo influye el desorden en la localización o delocalización de los estados electrónicos del ADN, utilizando modelos teóricos y herramientas de simulación numérica.

Los objetivos del trabajo son:

- Analizar el papel del desorden estructural en los estados electrónicos del ADN.

- Aplicar modelos de física del estado sólido, como el modelo de Anderson con desorden aleatorio y modelos de enlace fuerte, adaptados a la estructura del ADN.

- Emplear la aproximación del potencial coherente para obtener el efecto del desorden en la densidad de estados.

- Obtener la conductividad eléctrica en el marco de la aproximación del potencial coherente empleando la fórmula de Kubo.

Metodología:

En una primera etapa del trabajo, se llevará a cabo una revisión ribliográfica:
- Estudio de trabajos recientes sobre conductividad en ADN y sobre desorden en sistemas cuasi-unidimensionales.
- Análisis de los principales modelos teóricos utilizados (modelo de Anderson, modelos de enlace fuerte, modelos de doble cadena).

Una vez afianzados estos conocimientos, se iniciará el trabajo de modelización teórica:
- Formulación de un Hamiltoniano de enlace fuerte para el ADN, considerando dos cadenas de bases nitrogenadas.
- Introducción de desorden en los parámetros del modelo (desorden en los niveles de energía de sitio, denominado desorden diagonal).
- Implementación de la aproximación del potencial coherente a un modelo de dos bandas, incluyendo autoenergías matriciales.
- Resolución numérica de la ecuación central de la aproximación del potencial coherente para determinar la autoenergía.
- Obtención de la densidad de estados y comparación con los resultados arrojados por la diagonalización numérica del Hamiltoniano.
- Empleo de la fórmula de Kubo para determinar la conductividad de la molécula de ADN. Por sencillez, se omitirá la corrección de vértice.

En la fase de análisis y discusión se abordara:
- Interpretación de los resultados en términos de la física de transporte electrónico en ADN.
- Discusión sobre implicaciones para el transporte de carga en el diseño de dispositivos moleculares.

Por último, se procederá la redacción de la memoria:
- Estructuración de los resultados y discusión de las conclusiones en el contexto de la literatura previa.
- Identificación de posibles líneas de investigación futuras.

Bibliografía:

[1] G. Cuniberti, G. Fagas y K. Richter (Eds.), Introducing Molecular Electronics (Springer, Berlin, 2025).

[2] E. N. Economou, Green's Functions in Quantum Physics (Springer, Berlin, 2006).

[3] E. Díaz, A. V. Malyshev and F. Domínguez-Adame, Interband optical transitions in DNA-like systems, Physical Review B 76, 205117 (2007).

[4] E. Díaz, A. Sedrakyan, D. Sedrakyan and F. Domínguez-Adame, Absence of extended states in a ladder model of DNA, Physical Review B 75, 014201 (2007).

[5] D. Martínez, Y. Baba y F. Domínguez-Adame, Treating disorder in introductory solid state physics, American Journal of Physics 91, 812 (2023).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Hidrodinámica de electrones en sistemas bidimensionales
Title:	Electron hydrodynamics in 2D systems
Tutor/es:	Elena Díaz García y Jorge Estrada Álvarez
E-mail tutor/es:	elenadg@ucm.es, jorgstr@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El flujo viscoso de electrones en materiales bidimensionales da a lugar a muchos efectos exóticos, como la conducción superbalística o la formación de flujos electrónicos en forma de remolino. La existencia de este tipo de flujo viene marcada fundamentalmente por las escalas espaciales asociadas a los eventos de scattering elástico (colisiones entre electrones) e inelástico (colisiones con defectos y fonones). Además la interacción con los bordes del sistema también resulta crucial, de manera que un diseño geométrico apropiado puede dar lugar a una optimización de la respuesta eléctrica del dispositivo. En este trabajo se realizará un amplio estudio bibliográfico sobre hidrodinámica electrónica, incidiendo en las similitudes y diferencias con la hidrodinámica de fluidos tradicional. Se estudiará la metodología para la resolución de la respuesta eléctrica de dispositivos bidimensionales sencillos a través de la ecuación de Navier-Stokes y la ecuación de Boltzman. Se planteará resolver algún sistema en el que la relevancia de la geometría del sistema quede patente.

Metodología:

Inicialmente se analizará una amplia bibliografía sobre hidrodinámica electrónica, así como sobre los modelos basados en la ecuación de Boltzman y de Navier-Stokes para el estudio de transporte en sistemas de baja dimensionalidad. Se utilizará Matlab, u otro software similar, para simular algún dispositivo sencillo a través de la ecuación de Navier-Stokes. Usando el mismo software se realizarán figuras que representen la resistencia, la caída de potencial y la corriente en el dispositivo para intentar reproducir alguno de los resultados exóticos como la conducción superbalística.
En el caso de que el estudiante avance adecuadamente se plantearía que él mismo escribiera su propio código de programación.

Bibliografía:

[1] Polini, M. & Geim, A. K. Viscous electron fluids. Phys. Today 73, 28 (2020).
[2] Narozhny, B. N. Hydrodynamic approach to two-dimensional electron systems. Riv. Nuovo Cimento 45, 1 (2022).
[3] Fritz, L. & Scaffidi, T. Hydrodynamic electronic transport. Annual Review of Condensed Matter Physics 15, 17–44 (2024).
[4] Varnavides, G., Yacoby, A., Felser, C. & Narang, P. Charge transport and hydrodynamics in materials. Nat. Rev. Mater. 8, 726 (2023).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Nuevas arquitecturas basadas en óxidos metálicos con aplicaciones medioambientales
Title:	New architectures based on metal oxides with environmental applications
Tutor/es:	Ana Urbieta, Lucas Pérez
E-mail tutor/es:	anaur@ucm.es, lucas.perez@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Los óxidos metálicos semiconductores constituyen una familia de materiales de gran interés para multitud de aplicaciones tecnológicas y medioambientales como la fotocatálisis o la fabricación de sensores. La posibilidad de producir nuevas arquitecturas de estos materiales que mejoren algunos parámetros clave para dichas aplicaciones, como la superficie específica o la manejabilidad, abre nuevas posibilidades para su utilización, así como para obtener materiales multifuncionales. El objetivo de los dos trabajos ofertados 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. Uno de los trabajos se centrará en la utilización de los materiales en experimentos de fotocatálisis mientras que el otro lo hará en sensado.
En ambos casos, se buscará y estudiará la viabilidad de dichos materiales para cada una de las dos aplicaciones.

Metodología:

Ambos trabajos comenzarán realizando una revisión bibliográfica del uso de los óxidos metálicos en cada una de 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 fotocatálisis/sensado con las muestras obtenidas para cada uno de los trabajos ofertados.

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Inteligencia artificial en el análisis de imágenes de microscopía
Title:	Artificial intelligence for electron microscopy images analysis
Tutor/es:	Juan Ignacio Beltrán Fínez
E-mail tutor/es:	juanbelt@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

Objetivos:

El ámbito de la inteligencia artificial (IA) es más amplio que nunca llegando a cada una de las áreas de la ciencia [1] y vida cotidiana. En la física de los materiales, la necesidad de un análisis automatizado de una ingente cantidad de datos adquiridos mediante técnicas de microscopía de transmisión de electrones con resolución atómica(STEM) ha acelerado el uso de técnicas en IA, como las redes neuronales, para la predicción de propiedades de materiales [2]. Se propone el uso de tales redes para:
*Generación automatizada del mapa químico de imágenes STEM.
*Verificar la correcta predicción estructural y de elementos químicos mediente funciones de evaluación.
*Establecer la capacidad predictiva e incertidumbres del modelo mediante el estudio de la influencia del ruido y número de imágenes, modificaciones de parámetros en la estructura del modelo... etc.

Metodología:

Se usará el programa de distribución libre Atomai [3,4] que dispone de una gran cantidad de herramientas de IA como “segmentación semántica”, “detector de defectos” y otros módulos en lenguaje Python para generar un estudio con redes neuronales de imágenes, adquiridas mediante técnicas de microscopía de transmisión de electrones con resolución atómica.

Para la realización se requiere conexión a internet. No se necesitan conocimientos previos de programación.

Para cualquier pregunta/duda contactar a través de juanbelt@ucm.es o en mi despacho

Bibliografía:

[1] Y. LeCun et al. Nature 521, 436 (2015)
[2] A. Ghosh et al. Computational Materials 8, 74 (2022)
[3] M. Ziatdinov et al. Nat Mach Intell 4, 1101-1112 (2022)
[4] https://atomai.readthedocs.io/en/latest/examples.html

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Explorando el mundo con resolución atómica: microscopia electrónica de transmisión 4D-STEM en materiales avanzados
Title:	Exploring the world with atomic resolution: 4D-STEM Transmission Electron Microscopy in Advanced Materials
Tutor/es:	Gabriel Sánchez Santolino y Francisco Fernández Cañizares
E-mail tutor/es:	gsanchezsantolino@ucm.es, frafer06@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es explorar el estado del arte en que se encuentran actualmente diversas técnicas de microscopía con resolución atómica, aplicadas principalmente al estudio de materiales avanzados. Ejemplos pueden incluir la aplicación de microscopía con corrección de aberración esférica al estudio de materiales de interés tecnológico, medida de campos eléctricos y magnéticos en la escala atómica, microscopía electrónica 4D, técnicas avanzadas de análisis de datos (incluyendo deep learning, big data, inteligencia artificial, etc) entre otros.

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, pudiendo consistir en aspectos como:

- Estudio bibliográfico de los conceptos básicos en microscopía electrónica de transmisión, métodos de imagen, contraste diferencial de fase y técnicas 4D-STEM.
- Caracterización experimental con resolución atómica de la distribución de densidad de carga, campos eléctricos y magnéticos en materiales de relevancia física y tecnológica.
- Análisis computacional de datos, incluyendo herramientas de IA y automatización.

Bibliografía:

- Stephen J. Pennycook & Peter Nellist, *Scanning transmission electron microscopy*, Springer (2011).
- G. Sánchez-Santolino et al., *Probing the Internal Atomic Charge Density Distributions in Real Space,* ACS Nano, **12** (9), 8875-8881 (2018).
- C. Ophus, *Four-dimensional scanning transmission electron microscopy (4D-STEM): From scanning nanodiffraction to ptychography and beyond*, Microscopy and Microanalysis, **25** (3), 563-582 (2019).
- Y. Kohno et al., *Real-space visualization of intrinsic magnetic fields of an antiferromagnet*, Nature, **602**, 234 -239 (2022).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

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
Tutor/es:	Andrey Malyshev
E-mail tutor/es:	a.malyshev@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

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.

Bibliografía:

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)

A. V. Malyshev, V. A. Malyshev, F. Domínguez-Adame, "On the low-temperature diffusion of localized Frenkel excitons in linear molecular aggregates", The Journal of Physical Chemistry B 107 (18), 4418-4425 (2003)