



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



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 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Transistores MOSFET basados en Nanohilos
Title:	Nanowire-based MOSFET transistors
Tutor/es:	Pedro Hidalgo Alcalde, Beatriz Rodríguez Fernández
E-mail tutor/es:	phidalgo@ucm.es, berodr03@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Los sistemas unidimensionales, como los nanohilos, han atraído un amplio interés de investigación en los últimos años. Su tamaño en la nanoescala en dos de sus dimensiones aporta propiedades únicas a estos sistemas debido a efectos de confinamiento cuántico. Las características geométricas de los nanohilos presentan propiedades únicas en muchas aplicaciones prácticas en la tecnología actual. Este trabajo tiene como objetivo demostrar la base sólida de los nanohilos para la fabricación de transistores MOSFET en la nanoescala.

Metodología:

Se realizará una revisión bibliográfica sobre el tema propuesto y se desarrollarán estudios de simulaciones en modelos 3D de un MOSFET basado en nanohilos empleando la teoría del gradiente de densidad para añadir efectos de confinamiento cuántico a la formulación convencional de "Drift-Diffusion".

Bibliografía:

- 1.- Semiconductor Nanowire MOSFETs and Applications, Hao Zhu (BOOK: DOI: 10.5772/67446)
- 2.- S. Jin, Y.J. Park, and H.S. Min, "Simulation of Quantum Effects in the Nano-scale Semiconductor Device," J. Semicond. Tech. Sci., vol. 4, no. 1, p. 32, 2004.
- 3.- M.G. Ancona, "Density-gradient theory: a macroscopic approach to quantum confinement and tunneling in semiconductor devices," J. Comput. Electron., vol. 10, p. 65, 2011.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



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 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales	
Título:	Mejora de la fotocatalisis mediante el uso de materiales piezoeléctricos y ferroeléctricos	
Title:	Enhancement of Photocatalysis through the Use of Piezoelectric and Ferroelectric Materials	
Tutor/es:	Belén Sotillo Buzarra	
E-mail tutor/es:	bsotillo@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Asignación directa	

Objetivos:

El objetivo de este trabajo es estudiar las posibles sinergias entre los efectos piezoeléctricos, ferroeléctricos y fotocatalíticos para mejorar la eficiencia en la conversión de energía y aplicaciones medioambientales. Se pretende realizar una revisión crítica del estado del arte del tema, explorando las posibles implicaciones que tendrían para aplicaciones prácticas. Se propone analizar las propiedades físicas de estos materiales y la relación de éstas con su eficiencia como fotocatalizadores.

Metodología:

La metodología del trabajo se dividirá en:

- 1.- Revisión bibliográfica crítica del tema y estado del arte.
- 2.- Descripción de las propiedades físicas que caracterizan a los materiales piezoeléctricos, ferroeléctricos y fotocatalíticos.
- 3.- Si el desarrollo del trabajo lo permite, se podrá realizar alguna medida experimental de caracterización de materiales en el laboratorio del grupo de investigación de "Física de Nanomateriales electrónicos".

Bibliografía:

1. Li, Shun, et al. "Recent advances of ferro-, piezo-, and pyroelectric nanomaterials for catalytic applications." ACS Applied Nano Materials 3, 1063-1079 (2020).
2. Yang, Fengyi, et al. "Ultrasound-assisted piezoelectric photocatalysis: An effective strategy for enhancing hydrogen evolution from water splitting." Nano Energy, 108993 (2023).
3. Jing, Liquan, et al. "Piezo-photocatalysts in the field of energy and environment: Designs, applications, and prospects." Nano Energy, 108508 (2023).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Simulaciones DFT en Óxidos Semiconductores para Optoelectrónica
Title:	DFT simulations on Oxide Semiconductors for Optoelectronics
Tutor/es:	Ruth Martínez Casado y Bianchi Méndez Martín
E-mail tutor/es:	mariarum@ucm.es, bianchi@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Estudio de la microestructura y estados electrónicos en óxidos semiconductores.
- Estudio de la influencia de los defectos en la estructura electrónica de estos materiales.
- Estudio de las propiedades ópticas.
- Conocer las aplicaciones en optoelectrónica de los óxidos semiconductores.

Metodología:

La metodología se basará en cálculo de primeros principios utilizando la aproximación del funcional de la densidad (DFT) para obtener la estructura cristalina de algunos óxidos semiconductores. Aplicar el método a materiales perfectos y con defectos para evaluar los cambios en la estructura electrónica, que implican cambios en las propiedades ópticas.

El estudiante se formará en esta técnica y la aplicará a un material de interés tecnológico actual, como son los óxidos semiconductores. Los resultados obtenidos se podrán contrastar con experimentos llevados a cabo en el grupo de investigación "Física de nanomateriales electrónicos" del Departamento.

Bibliografía:

- R. Dovesi et al. WIREs Comput Mol Sci. 8, e1360 (2018).
- J. García-Fernández et al. Journal of Materials Chemistry C 8, 2725 (2020).
- J. Dolado et al. Acta Materialia 196, 626 (2020).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Estudio de películas delgadas magnéticas mediante Magnetometría Kerr
Title:	Study of magnetic thin films by Kerr Magnetometry
Tutor/es:	Álvaro Muñoz Noval
E-mail tutor/es:	almuno06@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Estudio de los principios físicos del efecto Kerr y su aplicación a la magnetometría Kerr. Estudio de distintos montajes experimentales, interpretación de resultados y revisión bibliográfica.

Metodología:

El TFG comenzará con una revisión bibliográfica para familiarizarse con la técnica y los distintos montajes. Posteriormente el estudiante participará en la puesta en marcha de un magnetómetro y caracterizará materiales magnéticos en forma de película delgada.

Bibliografía:

Z. Q. Qiu; S. D. Bader. Rev. Sci. Instrum. 71, 1243–1255 (2000).

D. A. Allwood et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 36, 2175 (2003).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Radiación Hawking en gases cuánticos
Title:	Hawking radiation in quantum gases
Tutor/es:	Fernando Sols, Juan Ramón Muñoz de Nova
E-mail tutor/es:	f.sols@fis.ucm.es, jrmnova@fis.ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

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] J. R. M. de Nova, I. Zapata, F. Sols, *Violation of Cauchy-Schwarz inequalities by spontaneous Hawking radiation in resonant boson structures*. **Phys. Rev. A** **89**, 043808 (2014).
- [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).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



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, Juan Ramón Muñoz de Nova
E-mail tutor/es:	f.sols@fis.ucm.es, jrmnova@fis.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. 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 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Caracterización y modelización de la respuesta en alta frecuencia de microhilos magnéticos para desarrollo de sensores avanzados
Title:	Characterization and modeling of the high frequency response of magnetic microwires for the development of advanced sensors
Tutor/es:	Pilar Marín, Daniel Matatagui
E-mail tutor/es:	mpmarin@fis.ucm.es, daniel.m.c@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Caracterizar microhilos magnéticos utilizando instrumentación de alta frecuencia, como analizadores de espectros, osciloscopios, generadores de alta frecuencia y analizadores de redes. Esto permitirá obtener la respuesta de los microhilos y modelar su comportamiento en función de las variaciones de propiedades magnéticas según los parámetros de fabricación. El objetivo es diseñar sensores avanzados con un rendimiento óptimo en aplicaciones específicas, para lo cual se realizarán diversas pruebas de concepto.

Metodología:

- 1.- Caracterizar la respuesta de microhilos magnéticos bajo la influencia de señales electromagnéticas de alta frecuencia, estudiando cómo varían las diferentes propiedades de los microhilos en función de la frecuencia.
- 2.- Utilizar los resultados de la caracterización anterior para modelizar su comportamiento y así optimizar el diseño de sensores.
- 3.- Validar experimentalmente el desempeño de los microhilos magnéticos como sensores, llevando a cabo la evaluación experimental de los microhilos diseñados y realizando pruebas de concepto para verificar su desempeño en situaciones reales de aplicación.

Bibliografía:

- 1.- Peña, A., Aguilera, J.D., Matatagui, D., de la Presa, P., Horrillo, C., Hernando, A., Marín, P. Real-Time Monitoring of Breath Biomarkers with A Magnetoelastic Contactless Gas Sensor: A Proof of Concept (2022) Biosensors, 12 (10), art. no. 871.
- 2.- Pena, A., Matatagui, D., Cruz, C., De La Presa, P., Marin, P., Horrillo, C. Study of magnetoelastic resonance for chemical sensors: Ribbons vs microwires (2021) Proceedings of the 2021 13th Spanish Conference on Electron Devices, CDE 2021, art. no. 9455747, pp. 106-109.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Desarrollo de Instrumentación para Microsistemas Analíticos en Detección de Enfermedades a través del Análisis del Aliento
Title:	Development of Instrumentation for Analytical Microsystems in Disease Detection through Breath Analysis
Tutor/es:	Daniel Matatagui
E-mail tutor/es:	daniel.m.c@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Participar en el proceso de prototipado de un microsistema analítico basado en multisensores, de muy bajo costo y con muy alta sensibilidad. El prototipo será caracterizado eléctricamente y posteriormente se automatizará la adquisición de la respuesta de los sensores a diferentes concentraciones de biomarcadores de enfermedades.

Metodología:

- 1.- Desarrollar instrumentación compacta para la adquisición de datos. Se llevará a cabo un entrenamiento previo en la caracterización de dispositivos y circuitos electrónicos con instrumentación especializada (analizador de redes, analizador 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.
- 2.- Desarrollo de software para la adquisición de datos. Para obtener la respuesta de los sensores se participará en el desarrollo de software sencillo que permita la interpretación de resultados.

Bibliografía:

- 1.- Peña, A., Aguilera, J.D., Matatagui, D., de la Presa, P., Horrillo, C., Hernando, A., Marín, P. Real-Time Monitoring of Breath Biomarkers with A Magnetoelastic Contactless Gas Sensor: A Proof of Concept (2022) Biosensors, 12 (10), art. no. 871.
- 2.- Matatagui, D., Cruz, C., Carrascoso, F., Al-Enizi, A.M., Nafady, A., Castellanos-Gomez, A., Horrillo, M.C. Eco-Friendly Disposable WS2 Paper Sensor for Sub-ppm NO2 Detection at Room Temperature (2022) Nanomaterials, 12 (7), art. no. 1213.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Efectos de muchos cuerpos en sistemas de baja dimensión
Title:	Many-body effects in low-dimensional materials
Tutor/es:	Pablo Moles Matías, Leonor Chico Gómez
E-mail tutor/es:	pmoles@ucm.es, leochico@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Estudiar los efectos de las interacciones de muchos cuerpos en sistemas de baja dimensión, como por ejemplo sistemas de carbono en los que hay patrones de moiré (nanotubos quirales colapsados [1], nanocintas de grafeno de dos capas [2]), o en dicalcogenuros de metales de transición bidimensionales, como MoS₂, ReS₂ y otros [3]. Conocer el estado actual del tema y las herramientas teóricas para abordar su estudio.

Metodología:

Se realizará un estudio bibliográfico sobre el sistema a estudiar, con especial interés en las técnicas teóricas necesarias para modelar los efectos de muchos cuerpos. Una vez conocida la bibliografía más relevante sobre el sistema, se estudiarán los métodos de cálculo relevantes para cuantificar estos efectos, así como su repercusión en las propiedades ópticas o de transporte de estos materiales. Se explorará igualmente el papel de las vacantes en estos sistemas con interacción electrónica, incidiendo en su papel respecto de la geometría del moiré.

Bibliografía:

- [1] O. Arroyo-Gascón, R. Fernández-Perea, E. Suárez-Morell, C. Cabrillo, Leonor Chico, One-dimensional moiré superlattices and flat bands in collapsed carbon nanotubes, Nano Lett. 20, 7588 (2020); - - - , Carbon 205, 394 (2023).
- [2] Pablo Moles, F. Domínguez-Adame, Leonor Chico, Impact of vacancies on twisted bilayer graphene quantum point contacts, Phys. Rev. B 109, 045415 (2024).
- [3] Daniel Vaquero, Olga Arroyo-Gascón, ... Francisco Domínguez-Adame, Leonor Chico, Polarization-tuneable excitonic features in the optoelectronic response of atomically thin ReS₂, 2D materials 11, 015011 (2024).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Materiales de baja dimensión para aplicaciones fotovoltaicas
Title:	Low-dimensional materials for photovoltaic applications
Tutor/es:	Leonor Chico Gómez
E-mail tutor/es:	leochico@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Estudiar las propiedades físicas relevantes en materiales de baja dimensión para aplicaciones fotovoltaicas. Analizar las ventajas derivadas del uso de distintos materiales de baja dimensión, como grafeno [1], perovskitas [2] y dicalcogenuros de metales de transición en los distintos elementos de la célula solar respecto de las células más convencionales. Explorar posibles mejoras en la eficiencia relacionadas con la combinación de distintos materiales bidimensionales o unidimensionales en el diseño de estos dispositivos [4].

Metodología:

Se realizará un estudio bibliográfico sobre los materiales a estudiar, con énfasis en las propiedades físicas de interés para aplicaciones fotovoltaicas. Una vez conocida la bibliografía más relevante sobre el sistema, se estudiarán las características más reseñables de estos materiales, así como las posibles modificaciones de sus propiedades relacionadas con la dimensión, la combinación de distintos materiales o la geometría del sistema.

Bibliografía:

- [1] T. Mahmoudi, Y. Wang, Y.-B. Hahn, Graohene and its derivatives for solar applications, Nano Energy 47, 51 (2018).
- [2] A. G. Ricciardulli, S. Yang, J. H. Smet, M. Saliba, Emerging perovskite monolayers, Nature Materials 20, 1325 (2021).
- [3] E. Singh, K. S. Kim, G. Y. Yeom, H. S. Nalwa, Atomically thin molybdenum disulfide (MoS₂) for bulk heterojunction solar cells, Applied Materials and Interfaces 9, 3223 (2017).
- [4] A. Agresti et al., Two-dimensional materials interface engineering for efficient perovskite large area modules, ACS Energy Letters 4. 1862 (2019).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Dinámica electrónica en materiales bidimensionales
Title:	Electron dynamics in two-dimensional materials
Tutor/es:	Francisco Domínguez-Adame Acosta y Pedro Luis Alcázar Ruano
E-mail tutor/es:	adame@ucm.es, pedrolua@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Familiarizar al alumno con las técnicas en física teórica y experimental de la materia condensada, en relación con la dinámica de los electrones en materiales bidimensionales, como los dicalcogenuros de metales de transición.

Metodología:

En una primera fase se proporcionará la bibliografía necesaria para profundizar en las características generales de los materiales bidimensionales y, en particular, de los dicalcogenuros de metales de transición. Posteriormente, partiendo de resultados previos [1, 2], se analizará el efecto del desorden debido a defectos puntuales sobre las propiedades optoelectrónicas de algunos materiales bidimensionales, seleccionados por su interés básico y aplicado. 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). De manera complementaria, el alumno o la alumna que realice este trabajo de fin de grado accederá al laboratorio para aprender las técnicas básicas de manipulación y caracterización de dicalcogenuros de metales de transición. Los resultados obtenidos se compararán con los reportados en la literatura.

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 y J. Quereda
Communications Physics 3, 194 (2020).
- [2] Polarization-tuneable excitonic spectral features in the optoelectronic response of atomically thin ReS₂
D. Vaquero-Monte, O. Arroyo-Gascón, J. Salvador-Sánchez, P. L. Alcázar-Ruano, E. Diez, A. Pérez-Rodríguez, J. D. Correa, F. Domínguez-Adame, L. Chico y J. Quereda
2D Materials 11, 015011 (2024).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Superconductividad topológica en presencia de desorden
Title:	Topological superconductivity under disorder
Tutor/es:	Francisco Domínguez-Adame Acosta, Dunkan Martínez Camacho
E-mail tutor/es:	adame@ucm.es, dunmar01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Familiarizarse con las técnicas de investigación en física teórica de la materia condensada, en relación con la superconductividad topológica. Comprender la aparición de fermiones de Majorana en materiales híbridos superconductor/semiconductor. Entender la importancia y el impacto del desorden en los materiales, con especial énfasis en los superconductores topológicos.

Metodología:

En una primera fase se proporcionará la bibliografía necesaria para profundizar en las características generales de los superconductores topológicos [1] y en la física de los estados electrónicos en medios desordenados [2,3]. Posteriormente se analizará el impacto del desorden en los modos de Majorana a energía cero, empleando para ello la cadena de Kitaev [4]. Si el avance del trabajo lo permite, se podrá investigar el impacto del desorden en un modelo enlace fuerte que se utiliza para estudiar semiconductores en proximidad a un superconductor topológico [4]. La metodología será la diagonalización numérica del Hamiltoniano, y los resultados se compararán con los obtenidos mediante la aproximación del potencial coherente [3].

Bibliografía:

- [1] B. A. Bernevig, Topological insulators and topological superconductors (Princeton University Press, 2013).
- [2] F. Domínguez-Adame y V. Malyshev, A simple approach to Anderson localization in one-dimensional disordered lattices, American Journal of Physics 72, 226 (2004).
- [3] D. Martínez, Y. Baba y F. Domínguez-Adame, Treating disorder in introductory solid state physics, American Journal of Physics 91, 812 (2023).
- [4] Haining Pan and S. Das Sarma, Disorder effects on Majorana zero modes: Kitaev chain versus semiconductor nanowire, Physical Review B 103, 224505 (2021).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Estudio de la distribución de carga en materiales con resolución atómica
Title:	Study of the charge distribution in materials with atomic resolution
Tutor/es:	Juan Ignacio Beltrán Finez, Gabriel Sánchez Santolino
E-mail tutor/es:	juanbelt@ucm.es, gsanchezsantolino@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Las propiedades de los compuestos estudiados en física de materiales dependen últimamente de la disposición atómica. Actualmente técnicas de microscopía electrónica pueden determinar la densidad de carga con resolución atómica y en el espacio real, que en combinación con técnicas de simulación pueden dar no sólo la explicación de ciertas propiedades sino la predicción de estructuras con propiedades novedosas. Los objetivos de este TFG es emplear técnicas de microscopía electrónica de resolución atómica y simulación para:

- *Generar potenciales electromagnéticos de modelos atomísticos.
- *Usar dichos potenciales para simular la dispersión de un haz de electrones en microscopía.
- *Comparar simulaciones con experimentos de microscopía para validar los modelos atomísticos.
- *Proponer una estructura que potencialmente exhiba propiedades novedosas.

Metodología:

La metodología se discutirá entre supervisores y estudiante y podrá consistir en aspectos como:

- Estudio bibliográfico de los conceptos básicos en microscopía electrónica de transmisión, métodos de imagen, contraste diferencial de fase para medida de densidad de carga atómica y métodos de simulación.
- Caracterización experimental de la distribución de densidad de carga en materiales con resolución atómica.
- Análisis computacional de datos.

Bibliografía:

- Stephen J. Pennycook & Peter Nellist, Scanning transmission electron microscopy, Springer, 2011.
- Sánchez-Santolino, et al., Probing the Internal Atomic Charge Density Distributions in Real Space. ACS Nano, 2018.
- Sebastian Calderon, et al., Atomic Electrostatic Maps of Point Defects in MoS₂. Nano Letters, 2021.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Fotodetectores de ultravioleta auto-alimentados
Title:	Self-powered ultraviolet photodetectors
Tutor/es:	Bianchi Méndez Martín
E-mail tutor/es:	bianchi@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Se trata de hacer una revisión del estado del arte de los materiales necesarios para la fabricación de sensores de llama ultravioleta de banda C (UVC), que no estén sujetos a falsos positivos y que presenten una foto-respuesta ciega a la radiación visible solar. Para ello se estudiarán materiales de gap ultra-ancho, como el Ga₂O₃ y su integración de heterouniones que permitan una fotodetección sin necesidad de fuentes de alimentación externas, es decir de forma autoalimentada.

Metodología:

En este trabajo, el estudiante hará una revisión bibliográfica en la que abordará:

- las características que debe tener un fotodetector de ultravioleta, ciego a la radiación solar.
- los materiales adecuados para estos dispositivos.
- los diseños que presenten una operación de forma autónoma.

Durante el desarrollo del TFG, el estudiante podrá realizar algún experimento con láminas delgadas y nanoestructuras de algunos de los materiales con esta aplicación.

Bibliografía:

E. Monroy et al., Wide-bandgap semiconductor ultraviolet photodetectors, Semicond. Sci. Technol. 18R33 (2003).
D. Kaur and M. Kumar, A strategic review on Gallium Oxide Based Deep-UV photodetectors: Recent progress and Future prospects, Adv. Optical. Mat. 9, 2002160 (2021).
M. Patel et al., All Transparent Metal Oxide Ultraviolet Photodetector, Adv. Electron. Mat. 1, 1500232 (2015).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Estudio de nanomateriales con técnicas basadas en radiación sincrotrón
Title:	Study on nanomaterials with synchrotron-based techniques
Tutor/es:	Arantzazu Mascaraque, Miguel A. González Barrio
E-mail tutor/es:	a.mascaraque@ucm.es, mabarrio@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo de este trabajo es familiarizarse con las aplicaciones de la radiación sincrotrón al estudio de nanomateriales, a través de un amplio abanico de técnicas:

1. Difracción y absorción de rayos X.
2. Espectroscopía de fotoemisión y microscopía de fotoelectrones.

Las técnicas experimentales basadas en radiación sincrotrón proporcionan herramientas poderosas para desentrañar, entre otras propiedades, la estructura cristalina, la estructura electrónica o el magnetismo de los materiales a escala nanométrica. En la actualidad, buena parte de la investigación en el campo de la física de estado sólido, la química, la física de materiales y otras áreas se basan en estas técnicas a la hora de explorar experimentalmente los sistemas objeto de estudio.

Metodología:

Se revisará bibliografía básica y reciente, para adquirir una visión amplia del tema, para después centrarse en aplicaciones recientes de dos técnicas experimentales al estudio de la estructura cristalina, estructura electrónica y propiedades magnéticas de nanomateriales.

Bibliografía:

Iwasawa, H. High-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy and microscopy. Electron. Struct. 2 (2020) 043001.
Shobota, J.A. et. al. Angle-resolved photoemission studies of quantum materials. Rev. Mod. Phys. 93, 025006 (2021).
Okuda, T. Recent trends in spin-resolved photoelectron spectroscopy. J. Phys.: Condens. Matter 29 483001 (2017).
Beaurepaire, E. Magnetism: A Synchrotron Radiation Approach. Springer, Berlín, 2006.
Cheng, X. et al., Studies of nanomagnetism using synchrotronbased x-ray photoemission electron microscopy (X-PEEM). Rep. Prog. Phys. 75, 026501 (2012).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Gases de electrones bidimensionales
Title:	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]
- 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 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Optimización de biosensores magnetoelásticos basados en microhilos magnéticos
Title:	Optimization of magnetoelastic biosensors based on magnetic microwires
Tutor/es:	Pilar Marín
E-mail tutor/es:	mpmarin@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo del trabajo es optimizar la respuesta magnetoelástica de microhilos magnéticos recubiertos de polímeros para adsorción de moléculas relacionadas con biomarcadores de aliento relacionados con enfermedades. Para ello se realizarán cálculos de la frecuencia de resonancia magnetoelástica en función del módulo de Young, la constante de magnetoelasticidad y la masa de estos. Estos estudios se complementarán con experimentos.

Metodología:

- 1) Estudio bibliográfico
- 2) Realización de cálculos de acuerdo a las instrucciones del supervisor
- 3) Desarrollo de montaje experimental
- 4) Toma de datos
- 5) Análisis y conclusiones

Bibliografía:

1. B. Lejeune, P. G. Birame Gueye, D. Archilla, E. Navarra, M. Vazquez, R. Pérez del Real, L.H. Lewis, P. Marín. " High-Sensitivity Wireless Sensing using Amorphous Magnetic Microwires". IEEE Sensors Journal 23(2), 1099- 1104 (2023).
2. A. Peña, J. D. Aguilera, D. Matatagui, P. de la Presa, C. Horrillo, A. Hernando, P. Marín. "Real-Time Monitoring of Breath Biomarkers with A Magnetoelastic Contactless Gas Sensor: A Proof of Concept " Biosensors, 12(10), 871 (2022)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Nanomagnetismo tridimensional
Title:	3D Nanomagnetism
Tutor/es:	Lucas Pérez García
E-mail tutor/es:	lucas.perez@ucm.es
Número de plazas:	2
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 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 de investigación bibliográfica: a partir de publicaciones recientes, se desarrollará uno 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 y (c) dinámica de imanación en sistemas curvos.
- 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 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Nanomembranas de semiconductores
Title:	Semiconductor nanomembranes
Tutor/es:	Bianchi Méndez Martín, Beatriz Rodriguez Fernández
E-mail tutor/es:	bianchi@ucm.es, berodr03@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Se trata de hacer una revisión del estado del arte de los materiales en forma de nanomembrana que presenten carácter semiconductor, y de las implicaciones que esto pueda suponer en sus propiedades físicas y las de las heteroestructuras que se construyan con ellos.

Metodología:

Siguiendo la estela del grafeno, actualmente se están estudiando otros materiales estables en forma de nanomembrana, que incluirían desde los propiamente bidimensionales hasta espesores de unos nanómetros. En este trabajo, el estudiante revisará algunas de las familias de estos materiales susceptibles de estabilizar nanomembranas o copos bidimensionales y que presentan un carácter semiconductor. Además, el estudiante abordará las heteroestructuras de van der Waals usando estos materiales y hará una revisión bibliográfica de las propiedades ópticas y electrónicas de las mismas, así como de la potencialidad que presentan estos materiales para múltiples aplicaciones. Durante el desarrollo del TFG, el estudiante podrá realizar algún experimento con nanomembranas.

Bibliografía:

S. Kaushik, R. Sing, "2D layered materials for ultraviolet photodetection: a review" Adv. Optical Mater. 2021, 9, 2002214.
X Song, J Hu, H. Zeng, "Two dimensional semiconductors: recent progress and future perspectives" J Mat. Chem C. 2013, 1, 2952-2969.
S Mukherjee, et al. "Tunable Direct Bandgap Optical Transitions in MoS₂ Nanocrystals for Photonic Devices" ACS Photonics 2015, 2, 6, 760—768.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Estructuras topológicas inducidas por moiré en óxidos complejos
Title:	Moiré-induced topological structures in twisted complex oxides
Tutor/es:	Gabriel Sanchez Santolino
E-mail tutor/es:	gsanchezsantolino@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

Objetivos:

Los óxidos complejos son materiales cuánticos en los que ligeros cambios en su estructura, composición o condiciones de contorno pueden dar lugar a diversas funcionalidades [1]. Recientemente, se ha demostrado la formación de estructuras topológicas polares en bicapas rotadas de estos materiales [2]. En este contexto, los objetivos de este TFG serán:

- Familiarizar al alumno con los materiales óxidos complejos y su estudio mediante técnicas de microscopía electrónica [3].
- Estudiar las deformaciones estructurales en capas rotadas ultradelgadas de óxidos complejos.
- Estudiar la formación de estructuras topológicas polares y magnéticas en estos sistemas.

Metodología:

La metodología se discutirá entre supervisor y estudiante y podrá consistir en aspectos como:

- Revisión bibliográfica del tema y estado del arte.
- Preparación de muestras mediante transferencia determinista de capas rotadas.
- Realización de medidas experimentales en microscopía electrónica de transmisión con corrector de aberraciones. Se estudiarán condiciones de resolución atómica y de nano-difracción.
- Análisis computacional de datos.

Bibliografía:

1. Y. Tokura et al. , Emergent functions of quantum materials, Nature 13, 1056 (2017).
2. G. Sánchez-Santolino, V. Rouco et al., A 2D ferroelectric vortex pattern in twisted BaTiO₃ freestanding layers, Nature, 626, 529 (2024).
3. Stephen J. Pennycook & Peter Nellist, Scanning transmission electron microscopy, Springer, (2011).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de Materiales
Título:	Efectos ópticos no lineales en super cristales de puntos cuánticos
Title:	Nonlinear optical effects in supercrystals of quantum dots
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 en el área de óptica no lineal, en relación con la dinámica de la respuesta óptica de sistemas de tres niveles basados en superredes de puntos cuánticos. Utilizando las técnicas estándar de análisis de sistemas dinámicos, modelar, caracterizar y analizar la dinámica óptica no lineal, en particular, en el régimen de auto-oscilaciones.

Metodología:

El estudiante comenzará haciendo un resumen de la literatura sobre aproximaciones, métodos y sistemas a estudiar: superredes de puntos cuánticos y sistemas ópticos de tres niveles, la aproximación de onda rotante, métodos numéricos de integración de sistemas dinámicos no lineales, a de Fourier, atractores, varios regímenes de dinámica no lineal, etc. Asimismo, utilizando los códigos que tenemos, empezará a hacer cálculos numéricos de dinámica no lineal para poder obtener resultados que podrá analizar y familiarizarse mejor con el problema. Acabará estudiando en detalle la dinámica de de auto-oscilaciones en régimen de excitación de baja intensidad.

Bibliografía:

"Nonlinear Optics". Robert W. Boyd. Academic Press (2020)

"Nonlinear optical response of a two-dimensional quantum-dot supercrystal: Emerging multistability, periodic and aperiodic self-oscillations, chaos, and transient chaos", I.V. Ryzhov, R.F. Malikov, A.V. Malyshev, V.A. Malyshev, Phys. Rev. A 100 (3), 033820 (2019)

"Quantum metasurfaces of arrays of Λ -emitters for photonic nano-devices", I.V. Ryzhov, R.F. Malikov, A.V. Malyshev, V.A. Malyshev, J. Opt. 23 (11), 115102 (2021)