



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Imágenes basadas en <i>speckle</i>	
<b>Title:</b>	Speckle based imaging	
<b>Supervisora:</b>	Tatiana Alieva	
<b>E-mail supervisora:</b>	talieva@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El efecto *speckle* es el resultado de la interferencia de muchas ondas de la misma frecuencia, que tienen diferentes fases y amplitudes, que se suman para formar un patrón resultante cuya intensidad varía aleatoriamente. Una técnica de imagen basada en *speckle* analiza el cambio espacial o temporal del patrón de *speckle* producido por reflexión o transmisión del haz coherente a través de una muestra.

El objetivo de este trabajo es entender la formación de *speckle* y principios de obtención de imágenes basadas en *speckle*, analizar diferentes modalidades y aplicaciones de esta técnica, demostrar experimentalmente la utilidad de la técnica.

### Metodología:

- Revisión bibliográfica de conceptos básicos de obtención de imágenes basadas en *speckle*.
- Análisis de diferentes modalidades.
- Implementación experimental de una de las modalidades de la obtención de imagen basada en *speckle*.

### Bibliografía:

E. Fujiwara et al, Didactic laser speckle experiments with a lens-less camera, Eur. J. Phys. 42, 065303 (2021); doi.org/10.1088/1361-6404/ac2b04.

W. Heeman, W. Steenbergen, G. M. van Dam, E. C. Boerma, Clinical applications of laser speckle contrast imaging: a review," J. Biomed. Opt. 24(8), 080901 (2019); doi: 10.1117/1.JBO.24.8.080901.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Imagen de campo oscuro	
<b>Title:</b>	Dark field imaging	
<b>Supervisora:</b>	Tatiana Alieva	
<b>E-mail supervisora:</b>	talieva@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

La microscopía de campo oscuro es una técnica que aprovecha la iluminación oblicua (que excluye el haz no disperso) para mejorar el contraste en muestras, revelar contornos, bordes, gradientes de índice de refracción y visualizar los objetos de tamaños menores que la resolución en condiciones de iluminación normales (campo claro). Las técnicas de imagen de campo oscuro se usan tanto en microscopía óptica como electrónica, así como en imagen de rayos X.

El objetivo de este trabajo es entender la formación de imagen de campo oscuro, analizar diferentes modalidades y aplicaciones de esta técnica, demostrar experimentalmente la utilidad de la técnica.

### Metodología:

Revisión bibliográfica de conceptos básicos de imagen de campo oscuro.

Análisis y aplicaciones de diferentes modalidades de imagen de campo oscuro.

Implementación experimental de una de las modalidades de imagen de campo oscuro.

### Bibliografía:

<https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/techniques/darkfieldjava/>

P. F. Gao, G. Lei, and C. Z. Huang, Dark-Field Microscopy: Recent advances in accurate analysis and emerging applications, Anal. Chem. 2021, 93, 4707 (2021).

R. Fakhrullin, L. Nigamatzyanova, and G. Fakhrullina, Dark-field/hyperspectral microscopy for detecting nanoscale particles in environmental nanotoxicology research, *Science of the Total Environment* 772, 145478 (2021).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Nanopartículas plasmónicas calentadas por pulsos láser ultracortos	
<b>Title:</b>	Fs-laser-heated plasmonic nanoparticles	
<b>Supervisor:</b>	Javier Hernández Rueda	
<b>E-mail supervisor:</b>	fj.hernandez.rueda@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El alumno deberá explicar la influencia de un aumento de la temperatura en las propiedades ópticas de nanopartículas metálicas calentadas con pulsos láser de femtosegundos con un amplio ancho de banda espectral.

### Metodología:

El alumno utilizará el modelo de Drude-Lorentz para estimar la influencia del aumento de la temperatura de nanopartículas metálicas en su constante dieléctrica, que resulta de la interacción láser-nanopartícula. A partir de la misma se calculará el índice de refracción, y utilizando la teoría de Mie, se estudiarán las propiedades de extinción y resonancia plasmónica de las nanopartículas calentadas por láser.

- Se utilizará la bibliografía recomendada para estudiar y utilizar los modelos mencionados con el fin de alcanzar el objetivo propuesto.

Se simularán diferentes escenarios de interacción luz-nanopartícula para parámetros relevantes del sistema (material, radio de la nanopartícula, temperatura, ancho de banda del láser etc.).

### Bibliografía:

- Bohren Craig , Donald R. Huffman. Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley & Sons, 2008.
- J. Hernandez-Rueda, A. de Beurs, D. van Oosten, Ultrafast laser ablation of trapped gold nanoparticles, Optics Letters 44 (13) 3294, 2019.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Fundamentos Cuánticos	
<b>Title:</b>	Quantum Fundamentals	
<b>Supervisor:</b>	Alfredo Luis Aina	
<b>E-mail supervisor:</b>	alluis@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

La teoría cuántica es quizás la más poderosa y a la vez quizás la más controvertida, la más discutida, la que más desafía nuestra intuición física, con variables aleatorias sin estadística conjunta, gatos zombis que no están ni vivos ni muertos, sucesos sin causas aparentes. ¿Juega la naturaleza con dados que nunca podremos entender? Por ello cualquier profundización en sus fundamentos y en su mejor comprensión siempre será valiosa y muy formativa. Vale la pena conocer y estudiar todas las herramientas que nos permitan capturar todo su misterio y belleza y nos acerquen a la comprensión del universo que buscamos como físicos.



### Metodología:

El trabajo es de carácter teórico. Tareas a realizar: Estudio de aspectos fundamentales de la teoría cuántica y sus interpretaciones. Los objetivos y tareas se concretarán de acuerdo con los alumnos.

### Bibliografía:

- A. Luis, *Coherencia clásica y cuántica: Estados Zombis*
- <https://www.ucm.es/data/cont/docs/1461-2017-10-20-quantum%20zombis.pdf>

- R. Galazo, I. Bartolomé, L. Ares, A. Luis, *Classical and quantum complementarity*, <https://arxiv.org/abs/1811.12636>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Coherencia	
<b>Title:</b>	Coherence	
<b>Supervisor:</b>	Alfredo Luis Aina	
<b>E-mail supervisor:</b>	alluis@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

La teoría cuántica es quizás la más poderosa y a la vez quizás la más controvertida, la más discutida, la que más desafía nuestra intuición física, con variables aleatorias sin estadística conjunta, gatos zombis que no están ni vivos ni muertos, sucesos sin causas aparentes. ¿Juega la naturaleza con dados que nunca podremos entender? Por ello cualquier profundización en sus fundamentos y en su mejor comprensión siempre será valiosa y muy formativa. Vale la pena conocer y estudiar todas las herramientas que nos permitan capturar todo su misterio y belleza y nos acerquen a la comprensión del universo que buscamos como físicos.



### Metodología:

El trabajo es de carácter teórico. Tareas a realizar: Estudio de aspectos fundamentales de la teoría cuántica y sus interpretaciones. Los objetivos y tareas se concretarán de acuerdo con los alumnos.

### Bibliografía:

- A. Luis, *Coherencia clásica y cuántica: Estados Zombis*
- <https://www.ucm.es/data/cont/docs/1461-2017-10-20-quantum%20zombis.pdf>

- R. Galazo, I. Bartolomé, L. Ares, A. Luis, *Classical and quantum complementarity*, <https://arxiv.org/abs/1811.12636>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Coherencia, Óptica Clásica y Óptica Cuántica	
<b>Title:</b>	Coherence, Classical and Quantum Optics	
<b>Supervisor:</b>	Alfredo Luis Aina	
<b>E-mail supervisor:</b>	alluis@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

La coherencia es un concepto fundamental necesario para que existan los fenómenos más interesantes en óptica y cuántica, hasta el punto de que sin coherencia no hay física cuántica, ni interferencia, ni polarización, ni difracción. El encuentro de coherencia, óptica y cuántica produce fenómenos como variables aleatorias sin estadística conjunta, gatos zombis que no están ni vivos ni muertos, sucesos sin causas aparentes. Son simples ejemplos de efectos que rozan casi ámbitos propios de la fantasía literaria o de la ciencia ficción.

### Metodología:

El trabajo es de carácter teórico. Tareas a realizar: Definiciones, propiedades, y aplicaciones de la coherencia en algún ámbito de óptica clásica o cuántica. Los objetivos y tareas se concretarán de acuerdo con los alumnos.

### Bibliografía:

- A. Luis, *Coherencia clásica y cuántica: Estados Zombis*.
- <https://www.ucm.es/data/cont/docs/1461-2017-10-20-quantum%20zombis.pdf>
- R. Galazo, I. Bartolomé, L. Ares, A. Luis, *Classical and quantum complementarity*, <https://arxiv.org/abs/1811.12636>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Haces Airy y su aplicación a los plasmones de superficie	
<b>Title:</b>	Airy beams and its application to surface plasmons	
<b>Supervisora:</b>	Rosario Martínez Herrero	
<b>E-mail supervisora:</b>	r.m-h@fis.ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Aplicar los haces Airy en su versión monodimensional al análisis de los plasmones superficiales generados en una interfaz dieléctrico/metal.

El trabajo es teórico. Se recomiendan conocimientos básicos de cálculo numérico (Matlab, Mathematica, etc.) y de representación gráfica.

### Metodología:

- 1.-Revisión de las propiedades de los haces Airy.
- 2.- Revisión de los plasmones de superficie generados en una interfaz dieléctrico/metal en aproximación paraxial.
- 3.- Aplicación de los haces Airy a los plasmones de superficie en las condiciones del apartado anterior.

### Bibliografía:

1. Efremidis, Nikolaos K., et al. "Airy beams and accelerating waves: an overview of recent advances." *Optica* 6.5 (2019): 686-701.
2. Martínez-Herrero, Rosario, Alejandro Manjavacas. "Basis for paraxial surface-plasmon-polariton packets." *Physical Review A* 94.6 (2016): 063829.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Interacción luz-materia: fundamentos y aplicaciones	
<b>Title:</b>	Light-matter interaction: fundamentals and applications	
<b>Supervisor/es:</b>	José A. Rodrigo	
<b>E-mail supervisor/es</b>	jarmar@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Estudio y comprensión de los fundamentos de la interacción luz-materia y sus aplicaciones.

### Metodología:

1. Revisión bibliográfica de conceptos fundamentales sobre la interacción luz-materia y sus aplicaciones en el contexto de la Óptica Física.
2. Estudio de diferentes técnicas de interés tecnológico que exploten la interacción luz-materia, por ejemplo: trampas láser para manipulación de átomos y nano/micro-partículas, plasmónica, micro-mecanizado de materiales con láser, etc.
3. Búsqueda de bibliografía actual (artículos de investigación) relacionada con las aplicaciones.
4. Redacción de la memoria y discusión de resultados.

### Bibliografía:

- 1.- Ashkin, A. *Optical Trapping and Manipulation of Neutral Particles Using Lasers: A Reprint Volume with Commentaries* (World Scientific Publishing Company, 2006).
- 2.- Lida, T. & Ishihara, H. Theory of resonant radiation force exerted on nanostructures by optical excitation of their quantum states: From microscopic to macroscopic descriptions. *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.* **77**, 1–16 (2008).
- 3.- Chu, S., Hollberg, L., Bjorkholm, J. E., Cable, A. & Ashkin, A. Three-dimensional viscous confinement and cooling of atoms by resonance radiation pressure. *Phys. Rev. Lett.* **55**, 48–51 (1985).
- 4.- Gattass, R. R. & Mazur, E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials. *Nat. Photon.* **2**, 219–225 (2008).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica
<b>Título:</b>	Información de Fisher y límites en metrología cuántica
<b>Title:</b>	Fisher information and ultimate limits in quantum metrology
<b>Supervisor/es:</b>	Luis Lorenzo Sánchez Soto
<b>E-mail supervisor/es</b>	lsanchez@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Introducción a los aspectos básicos de geometría de la información, con especial énfasis en la información de Fisher, y aplicación de dichas técnicas a caracterizar los límites cuánticos de diversos sistemas.

### Metodología:

La información de Fisher mide la información que una variable aleatoria  $X$  puede proporcionar sobre un parámetro  $\theta$  que se desea estimar. La célebre cota de Cramér-Rao da la varianza mínima que puede alcanzar un estimador insesgado de  $\theta$ .

Estos conceptos se pueden trasladar de forma directa al formalismo de la mecánica cuántica. En este caso, podemos entender el proceso de medida como el de estimación del valor más probable de la magnitud. Por tanto, la cota de Cramér-Rao aparece como una especie de principio de indeterminación generalizado. Puesto que muchos problemas en óptica cuántica se pueden plantear como un proceso de estimación óptima, estas técnicas anteriores pueden ser utilizadas para establecer los límites últimos en la precisión del sistema. Este es el caso de la resolución de un sistema óptico, la resolución temporal en un sistema GPS, etc. Dichos límites cuánticos serán el objeto de este TFG.

### Bibliografía:

- C. R. Rao, Linear Statistical Inference and its Applications (Wiley, New York, 2005).
- D. Petz, C. Ghinea, Introduction to quantum Fisher information (Springer, Berlin, 2011)
- M. A. Paris, J. Rehacek, Quantum state estimation (Springer, Berlin, 2004).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Metrología cuántica con orden temporal acausal	
<b>Title:</b>	Quantum metrology with indefinite causal structures	
<b>Supervisor/es:</b>	Luis Lorenzo Sánchez Soto	
<b>E-mail supervisor/es</b>	lsanchez@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El concepto de causalidad es esencial en la física: los eventos en el presente son causados por eventos en el pasado y, a su vez, actúan como causas de eventos en el futuro. Sin embargo, la teoría cuántica podría requerir considerar situaciones más generales en las que el orden causal entre eventos se vuelve indefinido. Por ejemplo, podría existir una estructura causal indefinida que corresponda a una superposición de "A causa B" y "B causa A".

Recientemente se ha desarrollado un marco teórico que asume que las operaciones están descritas por la mecánica cuántica, pero donde no se hace referencia a ninguna relación causal global entre estas operaciones. La noción central del formalismo es la de un proceso, que es una generalización de la noción de un estado físico (grados de libertad en una hipersuperficie de género espacio) y de un canal (grados de libertad en una hipersuperficie de género tiempo). Sorprendentemente, este formalismo permite procesos que no están ordenados causalmente ni en una mezcla probabilística de procesos ordenados causalmente, es decir, no pueden entenderse como canales o estados cuánticos.

Los procesos causalmente no separables pueden dar lugar a correlaciones que pueden violar las desigualdades causales que se satisfacen si los eventos se ordenan de acuerdo con un orden causal fijo. Ésta es una analogía directa con la famosa violación de las desigualdades de Bell por correlaciones cuánticas, que se satisfacen si las correlaciones cumplen la condición de causalidad local.

**Metodología:**

En este TFG se propone estudiar el uso de un interruptor cuántico (quantum switch), un sistema que puede controlar coherentemente el orden en el que se aplican las operaciones y, por tanto, realizar superposiciones de circuitos causales. Tales superposiciones causales ofrecen ventajas sustanciales para diversas tareas cuánticas. En este caso nos centraremos en metrología cuántica con fotones, intentando demostrar que el famoso límite de resolución de Heisenberg (con un comportamiento  $1/N$ , siendo  $N$  el número de fotones) puede violarse, dando lugar a superresolución, con importantes ventajas sobre esquemas convencionales.

**Bibliografía:**

- O. Oreshkov, F. Costa, Č. Brukner: Quantum correlations with no causal order, Nat. Commun. 3, 1092 (2012).
- C. Branciard, M. Araújo, F. Costa, A. Feix, and Č. Brukner: The simplest causal inequalities and their violation, New J. Phys. 18, 013008 (2016).
- X. Zhao, Y. Yang, G. Chiribell: Quantum metrology with indefinite causal order, Phys. Rev. Lett. 124, 190503 (2020).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Decoherencia y estocasticidad en dinámicas cuánticas	
<b>Title:</b>	Decoherence and stochasticity in quantum dynamics	
<b>Supervisor:</b>	Ángel S. Sanz Ortiz	
<b>E-mail supervisor:</b>	a.s.sanz@fis.ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Estudio y análisis de la decoherencia en sistemas cuánticos afectados por entornos markovianos empleando ecuaciones de Schrödinger estocásticas. Aunque este tipo de formulaciones queda fuera del currículum del Grado en Física, los conocimientos básicos para su comprensión y estudio se asume que han quedado asentados a lo largo del mismo. Se pretende, por tanto, que el/la alumno/a amplíe conocimientos a partir de la conexión entre conocimientos técnicos ya adquiridos y otros nuevos de la teoría de sistemas cuánticos abiertos.

### Metodología:

- Revisión bibliográfica para evaluar el estado actual del tema.
- Estudio y análisis formal de la formulación básica (difusión de estados cuánticos).
- Realización de simulaciones básicas con asesoramiento y seguimientos continuado por parte del tutor.
- Asistencia a tutorías periódicas para evaluar y discutir la evolución del trabajo, solventando cualquier contratiempo que pudiese surgir.

### Bibliografía:

- *Decoherence and the Appearance of the Classical World in Quantum Mechanics*, D. Giulini, et al. (Eds.) (Springer, Berlin, 1996).
- *The Theory of Open Quantum Systems*, H.-P. Breuer and F. Petruccione (Oxford University Press, Oxford, 2002).
- *Quantum State Diffusion*, I.C. Percival (Cambridge University Press, Cambridge, 1998).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica
<b>Título:</b>	¿Se pueden caracterizar multicapas con pulsos láser?: Fundamentos de interferometría espectral
<b>Title:</b>	Can we characterize multilayers using laser pulses?: Fundamentals of spectral interferometry
<b>Supervisores:</b>	Rosa Weigand, Óscar Pérez Benito
<b>E-mail supervisores:</b>	<a href="mailto:weigand@fis.ucm.es">weigand@fis.ucm.es</a> , <a href="mailto:oscper03@ucm.es">oscper03@ucm.es</a>
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Entender cómo con pulsos ultracortos de luz se pueden caracterizar las multicapas que se utilizan hoy en día en los elementos ópticos de sistemas láser de pulsos de femtosegundos.

### Metodología:

El estudiante enfocará su trabajo a entender la técnica de interferometría espectral.

Para ello:

1. Realizará búsquedas bibliográficas.
2. Modificará un programa existente que procese los espectros producidos por la interferencia entre pulsos para deducir las propiedades de la multicapa.
3. Realizará medidas en el laboratorio para caracterizar la actuación de las multicapas sobre pulsos láser ultracortos utilizando el programa anterior.

### Bibliografía:

- <https://www.austinspencer.com/post/spectral-interferometry/>
- L. Petite, G. Chériaux, and M. Joffre, "Linear techniques of phase measurement by femtosecond spectral interferometry for applications in spectroscopy" JOSA B 12, 2467-2474 (1995).