



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Dinámica browniana de micropartículas levitadas en una trampa electro-óptica

**Descripción general** (resumen y metodología):

El estudio de partículas micro- y nanométricas levitadas constituye un área de investigación de gran actualidad debido a sus aplicaciones en física estadística fuera del equilibrio, ciencia de aerosoles y sensores de alta sensibilidad [1-4]. Las trampas electrodinámicas tipo Paul permiten confinar partículas cargadas durante largos periodos de tiempo y proporcionan una plataforma versátil para investigar fenómenos fundamentales de dinámica estocástica.

En este Trabajo Fin de Grado se propone estudiar experimental y teóricamente la dinámica de micropartículas levitadas en una trampa electrodinámica lineal disponible en el Laboratorio de Trampas de Nanopartículas (NanoTLab). El estudiante se familiarizará con los principios físicos del confinamiento mediante campos eléctricos oscilantes y con la descripción de la dinámica de partículas atrapadas mediante ecuaciones de Langevin.

El trabajo incluirá la puesta en marcha y caracterización del sistema experimental, que incorpora detección por vídeo de las trayectorias de las partículas. De forma complementaria, se explorará la implementación de un sistema de detección basado en fotodiodos para mejorar la resolución espacial y temporal de las medidas. A partir de los datos experimentales se determinarán propiedades estacionarias del sistema, como distribuciones de posición, fluctuaciones y espectros de potencia.

En una fase más avanzada, se estudiarán configuraciones con varias partículas interactuantes confinadas en una geometría aproximadamente unidimensional. Esto permitirá explorar modos colectivos, procesos de relajación y fenómenos de transporte en sistemas mesoscópicos fuera del equilibrio [6,7].

**Tipología:** Trabajos experimentales, de toma de datos de campo o de laboratorio.

**Objetivos planteados:**

**Objetivo 1.** Comprender los fundamentos físicos de la dinámica browniana y del confinamiento de partículas cargadas en trampas electrodinámicas lineales.

**Objetivo 2.** Aprender el manejo experimental de una trampa de Paul para la levitación y manipulación de micropartículas.

**Objetivo 3.** Desarrollar modelos basados en la ecuación de Langevin para describir la dinámica estocástica de las partículas atrapadas.

**Objetivo 4.** Diseñar e implementar un sistema de detección mediante fotodetector de cuadrante (QPD) para mejorar la resolución espacial y temporal de las medidas experimentales.

**Objetivo 5.** Adquirir y analizar trayectorias experimentales mediante técnicas de visión artificial y detección óptica.

**Objetivo 6.** Caracterizar propiedades de equilibrio y estados estacionarios en sistemas de una o varias partículas confinadas.

**Objetivo 7.** Explorar fenómenos de relajación y dinámica colectiva en cadenas de partículas interactuantes.

**Bibliografía básica:**

[1] Gonzalez-Ballester, C., Aspelmeyer, M., Novotny, L., Quidant, R., & Romero-Isart, O. (2021). Levitodynamics: Levitation and control of microscopic objects in vacuum. *Science*, 374(6564), eabg3027.

- [2] Ricci, F., Rica, R. A., Spasenović, M., Gieseler, J., Rondin, L., Novotny, L., & Quidant, R. (2017). Optically levitated nanoparticle as a model system for stochastic bistable dynamics. *Nature communications*, 8(1), 15141.
- [3] Valenzuela, A., Bazo, E., Rica, R. A., Alados-Arboledas, L., & Olmo-Reyes, F. J. (2024). Electrodynamic single-particle trap integrated into double-cavity ring-down spectroscopy for light extinction. *Journal of Aerosol Science*, 175, 106292.
- [4] Skrabulis, M., Sosa, M. C., Zambon, N. C., Militaru, A., Rossi, M., Frimmer, M., & Novotny, L. (2026). Nanomechanical sensor resolving impulsive forces below its zero-point fluctuations. *Physical Review Letters* (En prensa)
- [5] W. Paul, Electromagnetic traps for charged and neutral particles, *Rev. Mod. Phys.* 62 (1990), 531.
- [6] G.P. Conangla, R.A. Rica, and R. Quidant, Extending Vacuum Trapping to Absorbing Objects with Hybrid Paul-Optical Traps, *Nano Letters* 20 (2020) 6018
- [7] S. Agarwal, A. Dhar, M. Kulkarni, A. Kundu, S. N. Majumdar, D. Mukamel, and G. Schehr. Harmonically Confined Particles with Long-Range Repulsive Interactions *Phys. Rev. Lett.* **123**, 100603 (2019)
- [8] Ibáñez, M., Dieball, C., Lasanta, A., Godec, A., & Rica, R. A. (2024). Heating and cooling are fundamentally asymmetric and evolve along distinct pathways. *Nature Physics*, 1-7.

**Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

Conocimiento previo sobre física estadística e interés por la física experimental.  
Manejo de software Python o similar

**Plazas:** 1

**2. DATOS DEL TUTOR/A:**

**Nombre y apellidos:** RAÚL ALBERTO RICA ALARCÓN

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA APLICADA

**Correo electrónico:** rul@ugr.es

**3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Ámbito de conocimiento/Departamento:**

**Correo electrónico:**

**4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**

**Nombre de la empresa o institución:**

**Dirección postal:**

**Puesto del tutor en la empresa o institución:**

**Centro de convenio Externo:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**