



Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas (curso 2021-2022)

Responsable de tutorización: Raúl A. Rica Alarcón

Correo electrónico: rul@ugr.es

Departamento: Física Aplicada

Área de conocimiento: Física Aplicada

Responsable de cotutorización: Antonio Lasanta Becerra

Correo electrónico: alasanta@ugr.es

Departamento: Álgebra

Área de conocimiento: Álgebra

(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)

Estudiante que propone el trabajo:

Título: Procesos estocásticos de termalización con partículas Brownianas en pinzas ópticas

Número de créditos: 6 ECTS 12 ECTS

Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):

- 1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
- 2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
- 3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
- 4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
- 5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
- 6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

Descripción y resumen de contenidos:

La termodinámica estocástica ha surgido recientemente como un campo de investigación muy activo en física estadística que utiliza magnitudes estocásticas para describir la dinámica de no equilibrio que aparece en sistemas pequeños tales como partículas coloidales, sistemas biológicos (ADN, ARN, proteínas, motores moleculares) y nanoestructuras [1]. En este TFG, el/la estudiante combinará teoría, simulación numérica y experimentos para estudiar procesos de termalización con una micropartícula atrapada en una pinza óptica.

La técnica de pinza óptica, desarrollada por Arthur Ashkin en la década de los 70 y por la que ha sido galardonado con el Premio Nobel de Física de 2018, hace uso de la presión de radiación para aplicar fuerzas del orden de pN, permitiendo mover y capturar micro y nanopartículas [2,3]. Además, el análisis interferométrico de la luz dispersada por la partícula atrapada permite medir desplazamientos respecto del centro de la trampa menores de un nanómetro, permitiendo la realización de medidas ultraprecisas en distintos campos [4,5].

Se pretenden llevar a cabo estudios sobre procesos de enfriamiento y calentamiento de una partícula atrapada en una pinza óptica. Se considerará la estadística de las trayectorias del sistema durante los procesos de termalización, tanto de enfriamiento como de calentamiento. Esto permitirá explorar dinámicas complejas de la partícula atrapada, utilizando los teoremas de fluctuación [6] para buscar relaciones no triviales entre los grados de libertad del sistema y

observar transiciones de fase dinámicas[7].

Actividades a desarrollar:

- 1.- Estudio teórico de las herramientas matemáticas necesarias: ecuación de Langevin y ecuación de Focker-Planck. Integrales estocásticas (Ito y Stratanovich).
- 2.- Introducción al fundamento físico de las pinzas ópticas.
- 3.- Introducción al manejo del dispositivo de pinzas ópticas disponible en el Laboratorio de Trampas de Nanopartículas (NanoTLab <https://sites.google.com/view/nanotlab>).
- 4.- Simulación e integración numérica de las ecuaciones estocásticas que modelan el sistema.
- 5.- Realización de experimentos de enfriamiento/calentamiento con una partícula atrapada en una pinza óptica comercial disponible en el NanoTLab.
- 6.- Análisis de la dinámica del sistema. Se obtendrán soluciones analíticas aproximadas de la dinámica del sistema, que serán contrastadas con simulaciones y experimentos.

Objetivos planteados

Físico-Experimental: Observación experimental de dinámicas complejas en procesos de enfriamiento y calentamiento.

Teórico-Matemático: Descripción y estudio por medio de las técnicas y métodos matemáticos de la termodinámica estocástica de experimentos de enfriamiento y calentamiento de una partícula atrapada por una pinza óptica.

Bibliografía

- [1] Seifert, U. (2012). Stochastic thermodynamics, fluctuation theorems and molecular machines. *Reports on progress in physics*, 75(12), 126001.
- [2] Ashkin, A. (1970). Acceleration and trapping of particles by radiation pressure. *Physical review letters*, 24(4), 156.
- [3] <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/10/advanced-physicsprize2018.pdf>
- [4] Bérut, A., Arakelyan, A., Petrosyan, A., Ciliberto, S., Dillenschneider, R., & Lutz, E. (2012). Experimental verification of Landauer's principle linking information and thermodynamics. *Nature*, 483(7388), 187-189.
- [5] Martínez, I. A., Roldán, É., Dinis, L., Petrov, D., Parrondo, J. M., & Rica, R. A. (2016). Brownian Carnot engine. *Nature physics*, 12(1), 67-70.
- [6] Chapter contributed to R.Klages, W.Just, C.Jarzyński (Eds.), Nonequilibrium Statistical Physics of Small Systems: Fluctuation Relations and Beyond (Wiley-VCH, Weinheim, 2012; ISBN 978-3-527-41094-1).
- [7] Garrahan, J. P., Jack, R. L., Lecomte, V., Pitard, E., van Duijvendijk, K., & van Wijland, F. (2009). First-order dynamical phase transition in models of glasses: an approach based on ensembles of histories. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 42(7), 075007.

Firma del responsable de tutorización

Firma del responsable de cotutorización

En Granada, a 7 de Mayo de 2021