



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Producción de entropía en una partícula atrapada ópticamente bajo forzamiento periódico

Descripción general (resumen y metodología):

La termodinámica estocástica proporciona un marco teórico para describir sistemas microscópicos sometidos a fluctuaciones térmicas, donde magnitudes como el trabajo, el calor o la entropía adquieren un carácter aleatorio. En este contexto, las pinzas ópticas constituyen una plataforma experimental ideal para estudiar procesos fuera del equilibrio mediante el seguimiento preciso del movimiento de partículas coloidales atrapadas en potenciales aproximadamente armónicos.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado será investigar la producción de entropía de una micropartícula atrapada ópticamente y sometida a un forzamiento sinusoidal. Se considerarán dos protocolos experimentales equivalentes a priori: el desplazamiento periódico del centro de la trampa óptica y el movimiento oscilatorio de la cámara fluídica que contiene la partícula. Se analizarán las condiciones bajo las cuales ambos procedimientos conducen a la misma dinámica efectiva y a la misma producción de entropía, así como las posibles desviaciones que puedan surgir en situaciones experimentales reales.

La metodología combinará herramientas teóricas, numéricas y experimentales. En primer lugar, se formulará la dinámica de la partícula mediante ecuaciones de Langevin y de Fokker-Planck para obtener la distribución de probabilidad y las magnitudes termodinámicas relevantes en régimen estacionario periódico. Posteriormente, se realizarán simulaciones numéricas para comparar las predicciones analíticas con los resultados experimentales. Finalmente, se llevarán a cabo medidas en un sistema de pinzas ópticas, registrando trayectorias de partículas sometidas a forzamientos periódicos y estimando a partir de ellas el trabajo disipado y la producción de entropía.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

1. Familiarizarse con los fundamentos de la termodinámica estocástica y los procesos fuera del equilibrio.
2. Modelizar la dinámica de una partícula atrapada ópticamente mediante ecuaciones de Langevin y Fokker-Planck.
3. Analizar teóricamente la respuesta de un oscilador armónico estocástico sometido a forzamiento sinusoidal.
4. Estudiar la equivalencia entre los protocolos de desplazamiento de la trampa y movimiento de la cámara fluídica.
5. Realizar medidas experimentales con pinzas ópticas y analizar las trayectorias obtenidas.
6. Determinar experimentalmente la producción de entropía y comparar los resultados con las predicciones teóricas.
7. Opcionalmente, se podrán implementar simulaciones numéricas de la dinámica estocástica del sistema.

Bibliografía básica:

1. Seifert, U. (2012). Stochastic thermodynamics, fluctuation theorems and molecular machines. Reports on progress in physics, 75(12), 126001.
2. 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.
3. Mestres, P., Martinez, I. A., Ortiz-Ambriz, A., Rica, R. A., & Roldan, E. (2014). Realization of nonequilibrium thermodynamic processes using external colored noise. Physical Review E, 90 (3), 032116.

4. Fernandez, L., Hess, S., & Klapp, S. H. (2024). Nonequilibrium dynamics and entropy production of a trapped colloidal particle in a complex nonreciprocal medium. *Physical Review E*, 109(5), 054129.
5. Tolić-Nørrelykke, S. F., Schäffer, E., Howard, J., Pavone, F. S., Jülicher, F., & Flyvbjerg, H. (2006). Calibration of optical tweezers with positional detection in the back focal plane. *Review of scientific instruments*, 77(10).
6. Robertson-Anderson, R. M. (2018). Optical tweezers microrheology: from the basics to advanced techniques and applications.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Aunque la propuesta es ambiciosa, el problema analítico ya ha sido resuelto por los tutores, las medidas experimentales se realizarán en un sistema comercial de pinzas ópticas que es muy robusto y las simulaciones sugeridas son estándar dentro del campo, por lo que la viabilidad de la propuesta está garantizada.

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: ANTONIO LASANTA BECERRA

Ámbito de conocimiento/Departamento: ÁLGEBRA

Correo electrónico: alasanta@ugr.es

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: