

# Caos cuántico de muchos cuerpos y ergodicidad: Desde átomos fríos a circuitos cuánticos

## Objetivo del proyecto

*El proyecto persigue el estudio de las fases caóticas en sistemas cuánticos de muchos cuerpos y en circuitos cuánticos, en relación con sistemas experimentales de átomos ultrafríos en potenciales ópticos, así como en simulaciones cuánticas con qubits superconductores de última generación.*

*Los tres objetivos fundamentales son los siguientes.*

- *Resolver el efecto de la indistinguibilidad de las partículas en el régimen hidrodinámico de la propagación de correlaciones asociado a la fase caótica.*
- *Determinar la fase caótica en un sistema anyónico en una dimensión, el que las partículas están gobernadas por una estadística cuántica fraccionaria.*
- *Estudiar las condiciones bajo las cuales el hardware superconductor puede producir estados ergódicos cuánticos tras la evolución de circuitos aleatorios.*

## Participantes del proyecto

Universidad de Salamanca, [www.usal.es](http://www.usal.es)

Quantum Optics and Statistics, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany, [quantum.uni-freiburg.de](http://quantum.uni-freiburg.de)

SCAYLE, Supercomputación Castilla y León (España), [www.scayle.es](http://www.scayle.es)

**Ejecución:** 2025 al 2028.

## Financiación del proyecto

Proyectos de Generación de Conocimiento y Actuaciones para la formación de personal investigador predoctoral 2024.

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/ Agencia Estatal de Investigación (MCIU/AEI/ 10.13039/501100011033) y fondos FEDER.

## Justificación del proyecto

La compleja dinámica de muchos cuerpos surge de una involucrada relación entre la interferencia de muchas partículas y sus interacciones. Estas últimas son responsables de la aparición de fases caóticas en las que ciertas características del sistema pueden ser descritas en términos de matrices aleatorias y mecánica estadística. La existencia de estos regímenes ergódicos (caóticos) implica un cambio

fundamental en la respuesta dinámica del sistema, con implicaciones significativas para el diseño de arquitecturas actuales de computación cuántica o la evaluación de simuladores cuánticos.

La investigación de fases ergódicas encuentra una plataforma experimental ideal con átomos ultrafríos en potenciales ópticos, así como en simulaciones cuánticas con qubits superconductores de última generación.

Este proyecto se centra en la investigación de cuestiones fundamentales, específicamente en la caracterización de fases ergódicas (caóticas) en modelos experimentalmente relevantes de átomos ultrafríos y qubits superconductores, así como en las implicaciones del caos cuántico para la respuesta dinámica del sistema. Nuestra hipótesis de trabajo es que el uso de un formalismo multifractal generalizado, en combinación con técnicas numéricas de última generación, puede servir para llevar a cabo una caracterización inequívoca del caos cuántico y la ergodicidad en los modelos discutidos y, por lo tanto, proporcionar una respuesta a cuestiones fundamentales relevantes sobre la física de estos sistemas.



Referencia: PID2024-156340NB-I00

## Funciones de SCAYLE

El estudio de sistemas cuánticos de muchos cuerpos requiere de simulaciones numéricas muy exigentes, dado que el espacio de configuración de los sistemas considerados crece exponencialmente con el número de partículas. Las instalaciones de computación del alto rendimiento de SCAYLE, que soportan el uso de software de última generación y un cálculo masivo en paralelo, nos permiten estudiar numéricamente --de manera exacta-- el espectro y los estados cuánticos estacionarios en espacios de Hilbert con dimensiones hasta  $2.6 \times 10^6$ , y de simular la dinámica de estados fuera del equilibrio en espacios de Hilbert con tamaños del orden de  $10^9$ .

## Líder del proyecto

GRUPO "*Quantum theory, simulation and quantum technologies*", Departamento de Física Fundamental, Universidad de Salamanca ([diarium.usal.es/argon](http://diarium.usal.es/argon))

El Grupo está dedicado al estudio de las propiedades fundamentales de sistemas cuánticos, con objeto de establecer el conocimiento esencial que subyace al desarrollo de futuras tecnologías cuánticas. Mediante el uso de simulaciones numéricas de alto rendimiento y técnicas analíticas, investigamos cuestiones relacionadas con la complejidad de estados cuánticos, la aparición de caos cuántico, la dinámica en sistemas cuánticos de muchos cuerpos, procesos de interferencia de muchas partículas, y el diseño de plataformas de computación cuántica.