



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Reloj atómico diseñado espectralmente basado en un único sistema cuántico

Descripción general (resumen y metodología):

Los relojes atómicos son uno de los primeros triunfos de la mecánica cuántica y el ejemplo prototípico de la metrología cuántica.

La transición entre dos niveles de energía de un átomo (como el cesio) se utiliza para estabilizar la frecuencia de un láser en un esquema típico de interrogación de Ramsey. En concreto, un átomo de cesio se prepara en una superposición entre dos estados propios de energía de referencia mediante un pulso de Ramsey, y luego se deja evolucionar libremente durante un tiempo t —conocido como tiempo de interrogación— antes de aplicar un segundo pulso de Ramsey. Posteriormente, se realiza una medición en la base propia de energía para obtener una estimación de la frecuencia de transición entre los dos estados de energía de referencia. Repetir este proceso k veces permite obtener una estimación precisa de dicha frecuencia al límite cuántico estándar.

Los relojes atómicos actuales alcanzan su estabilidad ya sea prolongando el tiempo de interrogación de los átomos o aumentando la precisión en la estimación de la frecuencia. Hasta la fecha, ningún reloj atómico es capaz de hacer ambas cosas simultáneamente. Esto se debe a que aumentar el tiempo de interrogación conlleva el riesgo de encontrar un “phase wrap”: la fase relativa entre los dos estados de energía, $\theta = \omega t$, evoluciona más allá del intervalo $(0, 2\pi]$, lo que reduce la precisión de la estimación de la frecuencia; mientras que aumentar la precisión de la estimación implica, a su vez, reducir los tiempos de interrogación.

Este trabajo explorará una construcción alternativa para un reloj atómico basada en ingeniería espectral [1], una técnica que permite prolongar el tiempo de interrogación al mismo tiempo que aumenta la precisión en la estimación de la frecuencia. La idea principal consiste en acoplar grados de libertad auxiliares (grados de libertad motionales, vibracionales, etc.) de forma que actúen como niveles de energía “virtuales” en el espectro del Hamiltoniano del sistema. El trabajo intentará implementar esta construcción de ingeniería espectral para un reloj atómico en un sistema cuántico de trampas de iones, con el objetivo final de proporcionar un esquema viable de prueba de concepto experimental que pueda implementarse en el laboratorio de iones del Dr. Daniel Rodríguez.

Metodología

- Inferencia estadística cuántica y metrología cuántica para establecer cotas inferiores en la precisión y estabilidad de la frecuencia.
- Control cuántico y física atómica para el diseño de pulsos.
- Simulación numérica del experimento utilizando Python.

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

Objetivos planteados:

- Calcular la precisión y la varianza de Allan del reloj atómico diseñado espectralmente.
- Diseñar las secuencias de pulsos y los tiempos de inserción de los niveles de energía virtuales para un sistema de trampas de iones, utilizando los grados de libertad motionales del ion en la trampa como modos auxiliares.

- Simulación numérica del protocolo, incluyendo imperfecciones de los pulsos, ensanchamiento espectral y efectos de calentamiento.

Bibliografía básica:

- [1] Sekatski, P. Skotiniotis, M. And Dür, W., Improved Sensing with a Single Qubit, Phys. Rev. Lett. 118, 170801 (2017)
- [2] Borregaard J, and Sørensen A. S., Efficient Atomic Clocks Operated with Several Atomic Ensembles, Phys. Rev. Lett. 111, 090802 (2013)
- [3] Kessler E.M, et al., Heisenberg-Limited Atom Clocks Based on Entangled Qubits, Phys. Rev. Lett. 112, 190403 (2014)
- [4] Ludlow, A. D., et al., Optical atomic clocks, Rev. Mod. Phys. 87, 637 (2015)

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: MICHAEL SKOTEINIOTIS

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA

Correo electrónico: mskotiniotis@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: