



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Relojes ópticos y la importancia de la regulación del láser en la transición “reloj” de un átomo

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

La medida del tiempo con precisión es muy importante en numerosas aplicaciones, como por ejemplo navegación espacial. A lo largo del siglo XX y XXI, se ha ido mejorando la precisión con la que se mide el tiempo, basando dicha medida (y la definición del segundo) en la medida precisa de una transición atómica del átomo de  $^{133}\text{Cs}$ , lo que se conoce como reloj atómico. La transición de la estructura hiperfina del átomo de  $^{133}\text{Cs}$  está en el rango de microondas y proporciona estabilidades en la medida del orden de  $10^{-14}$  en la llamada configuración de fuente atómica (cesium fountains). Estas características se pueden mejorar utilizando frecuencias ópticas (del orden de  $10^{14}$  Hz) que mejoraría la estabilidad y por tanto la exactitud del dispositivo en varios órdenes de magnitud. Este tipo de dispositivos se conocen como estándares de frecuencias o relojes ópticos y tiene como plataformas experimentales las trampas de iones y las trampas de átomos, en ambos casos enfriados por láser.

**Metodología:**

1. Conocimiento de las trampas de iones. Tecnología asociada y elementos necesarios para su funcionamiento.
2. Bibliografía asociada a la los relojes ópticos a partir de [1,2,3] y obtención de la información relevante.
3. Mecanismos de producción de radiación láser y control de la anchura de línea de emisión.
4. Conocimiento de la regulación láser cuando la radiación láser está acoplada a una cavidad de alta fineza y control de la misma utilizando los dos sistemas del laboratorio.
5. Medidas con peine de frecuencias.
6. Medida de la frecuencia de Rabi y relación con la anchura de línea.

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

**Objetivos planteados:**

Este trabajo tienes dos partes: una primera parte que consiste en una revisión bibliográfica sobre los relojes atómicos y los estándares de frecuencias (relojes ópticos) utilizando como base la publicación de revisión de la bibliografía [1], y los libros [2,3], que permita mostrar de forma clara cómo funcionan las dos plataformas (iones y/o átomos), cuáles son los errores sistemáticos que limitan en cada caso el nivel de estabilidad en la medida y con ello la exactitud de la misma y su idoneidad en distintas aplicaciones.. Una segunda parte del trabajo es experimental, en el Laboratorio de Trampas de Iones y Láseres [4], y consistiría en medidas de la anchura de línea de los dos sistemas láser del laboratorio acoplados a cavidades de alta fineza, utilizando un peine de frecuencias [5] y, a partir de resultados experimentales en el régimen cuántico con un ion  $^{40}\text{Ca}^+$ .

**Bibliografía básica:**

1. **Optical atomic clocks**, A. D. Ludlow, M. M. Boyd, J. Ye, E. Peik, and P. O. Schmidt, Review in Modern Physics **87** (2015) 637

2. **The Quantum Physics of Atomic Frequency Standards: volume 1**, J. Vanier, C. Audoin, IOP Publishing Ltd (1989).
3. **The Quantum Physics of Atomic Frequency Standards: recent developments**, J. Vanier, C. Tomescu, CRC Press Taylor & Francis Group (2016).
4. <http://trapsensor.ugr.es>
5. **A frequency comb stabilized Ti:Sa laser as a self-reference for ion-trap experiments with a  $40\text{Ca}^+$  ion**, F. Domínguez, J. Bañuelos, J. Berrocal, J. J. Del Pozo, M. Hernández, A. Carrasco-Sanz, J. Cerrillo, P. Escobedo-Araque, and D. Rodríguez, Review of Scientific Instruments 93 (2022) 093304.

**Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

**Plazas:** 1

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

**Nombre y apellidos:** DANIEL RODRÍGUEZ RUBIALES

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

**Correo electrónico:** danielrodriguez@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:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:** María Camacho Martínez

**Correo electrónico:** mcm10102@correo.ugr.es