



Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

Tutor/a: Daniel Rodríguez Rubiales
Departamento y Área de Conocimiento: Física Atómica, Molecular y Nuclear
Correo electrónico: danielrodriguez@ugr.es

Cotutor/a:
Departamento y Área de Conocimiento:
Correo electrónico:

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

Tipología del Trabajo: (Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/14)	(Marcar con X)	1. Revisión bibliográfica	X	4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio	
		2. Estudio de casos teórico-prácticos		5. Elaboración de un proyecto	
		3. Trabajos experimentales	X	6. Trabajo relacionado con prácticas externas	

Breve descripción del trabajo: 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}Cs , lo que se conoce como reloj atómico. La transición de la estructura hiperfina del átomo de ^{133}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.

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 $^{40}\text{Ca}^+$.

Metodología:

1. Conocimiento de las trampas de iones. Tecnología asociada y elementos necesarios para su funcionamiento.
2. Bibliografía asociada a 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.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Facultad de Ciencias
Sección de Físicas

Bibliografía:

- [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](#).

A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG

Alumno/a propuesto/a:

Granada, 21 de mayo de 2023

Sello del Departamento