UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

**Propuesta TFG.** Curso 2024/2025

**GRADO:** Grado en Física

**CÓDIGO DEL TFG:** 267-084-2024/2025

## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Estudio del oscilador cuántico basado en un ion oscilando en una trampa Penning: perspectivas para estudiar 229mTh3+.

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

Desde 2012, uno de los objetivos del Laboratorio de Trampas de Iones y Láseres de la Universidad de Granada [1] ha sido la mejora en la sensibilidad de detección de iones individuales en una trampa Penning, con el fin de llevar a cabo determinados experimentos con mayor precisión y exactitud [2]. En este contexto se ha llegado a realizar recientemente los primeros experimentos con cristales de Coulomb de dos iones (diferentes) enfriando uno de ellos (el isótopo 40Ca+) con radiación láser hasta el límite Doppler [3,4]. Los resultados muestran la necesidad de llegar al estado fundamental en cada uno de los modos del cristal en la trampa, lo que requiere el enfriamiento utilizando la llamada transición “reloj” del 40Ca+, con anchura de línea inferior a 1 Hz. Cada uno de los modos del cristal, o movimientos propios del ion individual, constituye un oscilador armónico cuántico, que permite estudiar un átomo de interés con la misma transición “reloj” del 40Ca+ [6]. Un ion ejemplo, de interés para nuestro grupo, es el isótopo de torio con número másico 229, que tiene un isómero nuclear de energía de solo 8.338(24) eV [7], y que se ha propuesto como reloj nuclear [8]. En el contexto de este trabajo está anticipar el efecto de un campo magnético de 7 teslas en este isótopo de torio, avanzar en la implementación del láser requerido y en el protocolo de medida puramente cuántico, que permita observar alguno de los osciladores.

**Metodología:**

1. Conocimiento de las trampas de iones. Tecnología asociada y elementos necesarios para su funcionamiento.
2. Conocimiento del programa experimental con trampas Penning del laboratorio.
3. Conocimiento de radiación láser y cavidades de alta fineza y sistemas de detección de fotones.
4. Protocolos de medias de naturaleza cuántica e implementación.
5. Conocer la importancia de estudiar 229mTh en el contexto de los relojes ópticos.
6. Conocimiento de los paquetes informáticos utilizados con trampas de iones para aspectos técnicos: SIMION y MOLFLOW+. Otros programas realizados por el grupo de investigación.

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

**Objetivos planteados:**

Este trabajo de fin de Grado consiste en avanzar en la motivación de estudiar 229mTh3+ en una trampa magnética junto a un ion enfriado con láser. Ver el efecto que el campo magnético tiene en los niveles atómicos y en el espín nuclear. En el mundo hay pocas trampas Penning, que en principio ofrecerían ventajas con respecto a las trampas Paul, ampliamente utilizadas en computación cuántica y relojes ópticos. Además, se profundizará en uno de los láseres existentes en el laboratorio acoplados a una cavidad de alta fineza y en la detección de fotones individuales. El grupo ya he realizado experimentos de naturaleza cuántica con una trampa Paul lineal (resultados aún sin publicar) y se apoyará en estos desarrollos para los experimentos con la trampa Penning. En el marco del trabajo también se contempla una posible revisión de algunos aspectos técnicos relevantes para los experimentos de óptica cuántica con trampas Penning, utilizando algunos paquetes informáticos para simulación de trayectorias de iones en campos

electromagnéticos, cristales de Coulomb y vacío.

**Bibliografía básica:**


1. http://trapsensor.ugr.es
2. **The TRAPSENSOR facility: an open-ring 7 tesla Penning trap for laser-based precision experiments**, M. J. Gutiérrez, J. Berrocal, J. M. Cornejo, F. Domínguez, J. J. Del Pozo, I. Arrazola, J. Bañuelos, P. Escobedo, O. Kaleja, L. Lamata, R. A. Rica, S. Schmidt, M. Block, E. Solano and D. Rodríguez, New Journal of Physics 2 (2019) 023023.
3. **Formation of two-ion crystals by injection from a Paul-trap source into a high-magnetic-field Penning trap,** J. Berrocal, E. Altozano, F. Domínguez, M. J. Gutiérrez, J. Cerrillo, F. J. Fernández, M. Block, C. Ospelkaus, and D. Rodríguez, Physical Review A 105, 052603 (2022)
4. **Motional frequency spectroscopy in a Penning trap via a single laser-cooled ion** J. Berrocal. Tesis de doctorado, 2024, Universidad de Granada.
5. **Motional quantum metrology in a Penning trap,** J. Cerrillo and D. Rodríguez, Europhysics Letters-Perspective 134 (2021) 38001.
6. **Observation of the radiative decay of the 229Th nuclear clock isomer,** S. Kraemer et al., Nature 617, 706-710 (2023).
7. **Nuclear clocks for testing fundamental physics**, E. Peik, T. Schumm, M. S. Safronova, A. Pálffy, J. Weitenberg and P. G Thirolf, Quantum Science and Technology **6,** 034002 (2021)


**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:**

**Centro de convenio Externo:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:** LUCIA GARCIA FERNANDEZ-SANTAELLA

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