UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Doble Grado en Física y Matemáticas

CÓDIGO DEL TFG: 295-040-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Tomografía cuántica con un ion atrapado

Descripción general (resumen y metodología):

La tomografía cuántica consiste en llevar a cabo el conjunto de operaciones necesarias para certificar la formación de un bit cuántico a partir de los dos estados que lo definen **[1]**, que en el caso de un qubit óptico de un ion atrapado corresponden al estado fundamental del electrón más externo del ion y a un estado metaestable del mismo **[2]**. La transición en este caso se lleva a cabo con un láser, cuya frecuencia debe regularse con mucha precisión y estabilidad y que permite, a partir de la técnica conocida como electron shelving **[3]**, observar el ion en uno de los dos estados. Cada medida se repite muchas veces para caracterizar la probabilidad. Esto sin embargo, no es suficiente para determinar si se ha generado un estado puro o un estado mezcla, y necesita de operaciones auxiliares que se describen por medio de rotaciones en la esfera de Bloch **[4,5]**. En el Laboratorio de Trampas de Iones y Láseres de la UGR **[6]** se puede generar un bit cuántico a partir de un ion atrapado y realizar las proyecciones en los estados que forman el qubit **[7]**, lo que abre la puerta a realizar las rotaciones para completar un proceso de tomografía de un qubit, utilizando pulsos de un láser de 729 nm.

Metodología.

1) Familiarización con la computación cuántica con iones atrapados (ver por ejemplo Ref. **[8]**). Elementos básicos de computación cuántica en general.
2) Revisión de la bibliografía sobre tomografía cuántica apoyándose en un Trabajo de Fin de Grado previo **[9]**.
3) Conocimiento de las trampas Penning y Paul con las que también se pretende llevar a cabo comparaciones en lo que respecta a la manipulación del qubit.
4) Producción de radiación láser, enfriamiento hasta el estado cero y manipulación de estados con pulsos de radiación láser. Conocimiento de los Hamiltonianos asociados y de la matriz densidad de un sistema.
5) Asociación del tratamiento matemático al problema experimental.
6) Implementación del procedimiento en el sistema de adquisición y realización del experimento.
7) Análisis de datos y estimación de máxima probabilidad.

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

Objetivos planteados:

El primer objetivo es formar al estudiante en aspectos básicos de computación cuántica con iones atrapados, lo que conllevará a revisar la bibliografía, fundamentalmente trabajos de máster y tesis doctorales, para ver el estado actual de la computación con iones atrapados. El segundo objetivo de este trabajo es avanzar en los experimentos de naturaleza cuántica que se llevan a cabo en el Laboratorio de Trampas de Iones y Láseres de la Universidad de Granada. Para ello se continuará con el Trabajo de Fin de Grado de Física realizado en el curso 2022-2023 **[9]** y se beneficiará de los muchos avances en el dispositivo experimental que han tenido lugar desde entonces en torno a la trampa Paul lineal del laboratorio, algunos de los cuales puede encontrarse en la Ref. **[7]**. Un objetivo específico es desarrollar el proceso matemático para el análisis del qubit y el otro objetivo específico es poder llevar a cabo el primer experimento de esta naturaleza en el laboratorio.

Bibliografía básica:

[1] **Measurement of qubits**, D. F. V. James, P. G. Kwiat, W. J. Munro, and A. G. White, Physical Review A 64 (2001) 052312.
[2] **Quantum Computations with Cold Trapped Ions**, J. I. Cirac y P. Zoller, Physical Review Letters 74 (1995) 4091.
[3] **Shelved optical electron amplifier: Observation of quantum jumps,**
W. Nagourney, J. Sandberg, and H. Dehmelt, Physical Review Letters 56 (1986) 2797.
[4] **Nuclear induction**, F. Bloch, Physical Review 70 (1946) 460.
[5] **Quantum computation and quantum Information**, M.A. Nielsen and I. Chuang, American Association of Physics Teachers, 2002.
[6] https://trapsensor.ugr.es
[7] **Optical mass identification and electric-field sensing in a linear Paul trap with a laser-cooled ion: from the Doppler to the quantum regime**, Tesis Doctoral, Francisco Domínguez, Universidad de Granada, 2024.
[8] **Preparation of Entangled States and Quantum Teleportation with Atomic Qubits**, Tesis Doctoral, Mark Riebe, Universidad de Innsbruck, 2004.
[9] **Operaciones básicas con un bit cuántico construido a partir de un ion atrapado**, Trabajo de Fin de Grado, Daniel Montesinos, Universidad de Granada, 2023.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Se trata de un Trabajo del Doble Grado en Física y Matemáticas que tendría un equivalente a 12 créditos y que podría considerarse como una asignatura anual. Se recomienda al estudiante ponerse en contacto con el profesor tutor al empezar el curso para dosificar de forma adecuada la realización del trabajo. También se recomienda al estudiante adquirir formación de programación en Python (en caso de no tenerla).

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: JESUS SERRANO RODRIGUEZ

Correo electrónico: jserrod655@correo.ugr.es