UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2025/2026

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-221-2025/2026

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Computación cuántica con multi-qutrits simétricos protegidos por paridad

Descripción general (resumen y metodología):

Se estudiarán las propiedades de una base de estados máximamente enredados construidos a partir de estados coherentes de U(3) adaptados a paridad, donde la paridad se refiere al número total de excitaciones (o átomos), construyendo de este modo un qubit lógico basado en qutrits. Se estudiará la evolución de estos estados bajo Linbladianos muy generales que incluirán términos hamiltonianos cuadráticos y cuárticos en los operadores de U(3) y disipadores lineales y cuadráticos en estos operadores, con la intención de seleccionar los valores más adecuados de los parámetros de estos estados para que la decoherencia sea la mínima posible. Se diseñarán puertas lógicas basadas en estos estados, tanto a uno como dos qubits, tales como la puerta NOT (bit-flip), la puerta phase-shift, o la puerta Hadamard.

La metodología a usar es la de la mecánica cuántica con qutrits, es decir, sistemas que pueden estar en 3 estados o niveles (por ejemplo, átomos en los que nos restringimos a los 3 primeros niveles, el fundamental y dos niveles excitados). El grupo de transformaciones actuando sobre estos sistemas es U(3), y nos centraremos en las representaciones simétricas de U(3), caracterizadas por un número N de estos átomos considerados como indistinguibles.

Se utilizarán los estados coherentes de U(3), que son excitaciones coherentes de estos N átomos en los que las poblaciones de cada uno de los niveles sigue una distribución multinomial (trinomial en este caso), y construiremos combinaciones de estos estados coherentes que tengan paridad total definida (donde la paridad total se refiere a la paridad de la suma de las poblaciones de los dos niveles excitados, es decir, esta suma deberá ser o par o impar).

Para estudiar la evolución y decoherencia de estos estados usaremos el formalismo de sistemas abiertos particularizado al caso de sistemas de tres niveles (qutrits), y la obtención de los estados estacionarios para Linbladianos bastante generales.

Por último usaremos los conceptos de puertas lógicas a uno y a dos qubits, que son la base para el desarrollo de la computación cuántica.

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

Objetivos planteados:

Construcción de estados coherentes de qutrits adaptados a paridad que sean estacionarios frente a Linbladianos para qutrits bastante generales, lo que permitirá definir un qubit lógico. Construcción explícita de puertas a uno y dos qubits para este sistema.

Bibliografía básica:

Michael A. Nielsen & Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press 2010

Richard P. Feynman Feynman, Lectures on computation, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1996

Colin P. Williams, Explorations in Quantum Computing, Springer 2011

M. Calixto, A. Mayorgas and J. Guerrero, Entanglement and U(D)-spin squeezing in symmetric multi-quDit systems and applications to quantum phase transitions inLipkin-Meshkov-Glick D-level atom models , Quant. Inf. Process. 20 (2021) 304

J. Guerrero, A. Mayorgas, M. Calixto, Information diagrams in the study of entanglement in symmetric multi-quDit systems and applications to quantum phase transitions in

Lipkin–Meshkov–Glick D-level atom models, Quantum Inf. Process. 21 (2022) 223
A. Mayorgas, J. Guerrero, M. Calixto, Localization measures of parity adapted U(D)-spin coherent states applied to the phase space analysis of the D-level Lipkin-Meshkov-Glick model, Phys. Rev. E 108 (2023) 024107
J Guerrero, A Sojo, A Mayorgas and M Calixto, Schmidt decomposition of parity adapted coherent states for symmetric multi-quDits, J. Phys. A:Math. Theor. 56 (2023) 355304

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Repasar el formalismo de segunda cuantización y estudiar bien el capítulo 8 de la Referencia 1

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: MANUEL CALIXTO MOLINA

Ámbito de conocimiento/Departamento: MATEMÁTICA APLICADA

Correo electrónico: calixto@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: Julio Guerrero García

Correo electrónico: jguerrer@ujaen.es

Nombre de la empresa o institución: Universidad de Jaen

Dirección postal: Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaen

Puesto del tutor en la empresa o institución: Catedrático de Universidad

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: José Miguel Luque García

Correo electrónico: jmlg@correo.ugr.es