

Nanoscale Josephson Junctions: Toward the Next Generation of Quantum Devices

This project is framed within the second quantum revolution, which aims to harness quantum coherence and entanglement for new generations of computing, communication, and sensing technologies. Superconducting circuits play a central role in this effort, providing the most mature platform for quantum computation. However, their performance remains limited by decoherence and scalability, motivating the exploration of **nanoscale superconducting devices** that combine microscopic control with macroscopic quantum behavior.

The main goal of the project is to theoretically study (design and simulation) of superconducting devices at the nanoscale, identifying regimes and architectures that enhance coherence, control, and functionality. The overall objective is to improve the performance and robustness of quantum devices by studying how quantum transport, interactions, and hybridization affect their operation.

The project will focus on three complementary research directions:

1. Superconducting transport and supercurrent electronics, modeling of hybrid nanostructures to design new fast and efficient electronics.
2. Engineering exotic states in hybrid superconductors, such as Andreev and Majorana bound states, to achieve protected quantum degrees of freedom.
3. Designing novel quantum architectures which could serve as the building blocks for next-generation qubits and quantum circuits.

To reach these goals, the project will combine analytical modeling with numerical simulations, establishing close connections with ongoing experimental collaborations. Ultimately, this research aims to provide guidelines for the development of smaller, more coherent, and scalable superconducting quantum technologies.

Uniones Josephson a nanoescala: hacia la próxima generación de dispositivos cuánticos

Este proyecto se enmarca dentro de la segunda revolución cuántica, cuyo objetivo es aprovechar la coherencia y el entrelazamiento cuántico para desarrollar nuevas generaciones de tecnologías de computación, comunicación y detección. Los circuitos superconductores desempeñan un papel central en este esfuerzo, constituyendo la plataforma más madura para la computación cuántica. Sin embargo, su rendimiento sigue limitado por la decoherencia y la escalabilidad, lo que motiva la exploración de **dispositivos superconductores a nanoescala** que combinen un control microscópico con un comportamiento cuántico macroscópico.

El objetivo principal del proyecto es el estudio teórico (diseño y simulación) de dispositivos superconductores a nanoescala, identificando los regímenes y arquitecturas que mejoran su coherencia, control y funcionalidad. El propósito general es mejorar el rendimiento y la robustez de los dispositivos cuánticos mediante el análisis de cómo el transporte cuántico, las interacciones y la hibridación influyen en su funcionamiento.

El proyecto se centrará en tres líneas de investigación complementarias:

1. Transporte superconductor y electrónica de supercorriente, modelización de nanoestructuras híbridas para diseñar una nueva electrónica rápida y eficiente.
2. Ingeniería de estados exóticos en superconductores híbridos, como los estados ligados de Andreev y Majorana, para lograr grados de libertad cuánticos protegidos.
3. Diseño de nuevas arquitecturas cuánticas que puedan servir como bloques de construcción para la próxima generación de qubits y circuitos cuánticos.

Para alcanzar estos objetivos, el proyecto combinará modelización analítica y simulaciones numéricas, estableciendo estrechas colaboraciones con grupos experimentales en curso. En última instancia, esta investigación pretende ofrecer directrices para el desarrollo de tecnologías cuánticas superconductoras más pequeñas, coherentes y escalables.