

PROPUESTA DE TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FÍSICAS

DATOS GENERALES DE LA PROPUESTA

Título de la propuesta: **Desarrollo de dispositivos cuánticos basados en circuitos superconductores**

Apellido y Nombres del director: **Leandro Tosi**

Teléfono: **2944959457**

Dirección electrónica del director (ingresar una sola dirección): **leandro.tosi@ib.edu.ar**

Cargo IB: **JTP**

¿Propone codirector? : **NO**

Datos Co-director:

Dirección electrónica del codirector (ingresar una sola dirección):

Título máximo alcanzado del codirector (Doctor, Magister, otros) :

Cargo docente del codirector en el IB (no excluyente):

Justifique brevemente el rol del Codirector:

Lugar de realización: **Grupo de Dispositivos y Sensores**

DETALLE TÉCNICO DE LA PROPUESTA

Orientación:

Física Tecnológica

Materia Condensada

Breve descripción: **Los circuitos superconductores constituyen una de las plataformas más prometedoras para el desarrollo de dispositivos cuánticos. Dentro de esta línea de trabajo empezamos recientemente la implementación experimental de tres propuestas:**

- 1) Generación de entrelazamiento utilizando qubits de flujo (basado en una propuesta teórica de María José Sanchez, Sebastián Gallardo y Daniel Domínguez)**
- 2) Desarrollo de amplificadores cuánticos controlados electrostáticamente (basado en un nuevo material híbrido superconductor/semiconductor)**
- 3) Desarrollo de detectores de fotones basados en resonadores microondas (utilizando materiales de alta inductancia cinética)**

Para todas estas propuestas se requieren capacidades complementarias por lo que estamos buscando formar equipos (ya estamos trabajando con Majo Sánchez, Daniel Domínguez, Hernán Pastoriza, Leo Salazar, Joan Cáceres, Ivana Curci y Kelvin Ramos)*. La idea es desarrollar: una muy buena comprensión teórica aplicada a la optimización de los experimentos, skills en programación y simulación numérica, trabajo experimental de fabricación y caracterización. También buscamos desarrollar electrónica propia para el procesamiento de señales. Todo este resumen para invitar a quienes esten interesades (experimentales, programadores, electroniques, etc) a que se sumen a cualquiera de estas líneas.

***pueden escribirles para tener referencias.**

A continuación se describen brevemente las propuestas:

- 1) El entrelazamiento es una propiedad exclusiva a la mecánica cuántica cuya importancia ha sido**

resaltada en diferentes contextos incluyendo sensado, computación, e información cuántica. Un estado entrelazado puede ser usado por ejemplo, para incrementar la sensibilidad y las capacidades de un detector, o para el intercambio seguro de claves. Para cualquier aplicación es deseable poder manipular coherentemente al sistema para llevarlo desde un estado separable a un estado entrelazado (generación de entrelazamiento) para luego realizar mediciones. Sin embargo, un estado entrelazado es muy frágil frente a las perturbaciones del ambiente y la coherencia se pierde rápidamente. En la maestría se propone avanzar en la implementación experimental de un protocolo teórico [1] para la generación de entrelazamiento basado en la electrodinámica cuántica de circuitos (cQED) y la interferometría de Landau-Zener-Stückelberg. En el mundo de los circuitos cuánticos, cQED [2-5] describe la interacción de un modo confinado del campo electromagnético con átomos artificiales (qubits) fabricados en un mismo chip usando técnicas de micro y nano-fabricación [4-6]. Las cavidades electromagnéticas se han convertido en una herramienta ideal para el estudio de fenómenos cuánticos de interacción de radiación con la materia. El largo tiempo de vida de los fotones permite aumentar la interacción revelando efectos propios de la electrodinámica cuántica. Continuando el trabajo de Maestría de Ivana Curci, se propone avanzar en el diseño, la fabricación y la caracterización de los elementos esenciales para la implementación del protocolo: resonadores microondas de alto factor de calidad y qubits superconductores. El trabajo estará acompañado del análisis teórico del protocolo simulado con los valores cercanos a los experimentales [7-12].

2) El objetivo principal de la propuesta es diseñar, crecer y caracterizar heteroestructuras semiconductoras que presenten superconductividad inducida [13]. Esta plataforma versátil sería ideal para nuevos experimentos de física mesoscópica y para la implementación de dispositivos cuánticos novedosos. En las últimas décadas, las heteroestructuras semiconductoras (basadas en InAs o GaAs) se han utilizado ampliamente para la fabricación de dispositivos electrónicos debido a la posibilidad de controlar electrostáticamente el gas de electrones bidimensional de alta movilidad que se forma en ellas. Al introducir superconductividad en el gas de electrones a través del efecto de proximidad, se abren nuevas posibilidades: una corriente puede fluir sin disipación y esta supercorriente se puede controlar electrostáticamente. El objetivo específico de esta propuesta es diseñar heteroestructuras basadas en pozos cuánticos de InAs con Aluminio [14-20], crecerlas por MBE (epitaxia por haz molecular) y caracterizarlas tanto desde el punto de vista estructural como eléctrico. Empezar por pozos de InAs y luego buscar obtener muestras con superconductividad inducida. Avanzar en el diseño de amplificadores Josephson paramétricos controlados electrostáticamente [21-23].

3) Los resonadores superconductores pueden constituir detectores de fotones muy sensibles basados en las modificaciones de la inductancia cinética [24]. Si un fotón de suficiente energía es absorbido por el superconductor del que está hecho el resonador, esta energía es utilizada para romper pares de Cooper y aumentar la densidad de cuasipartículas fuera de equilibrio. Esta disminución en la densidad de pares de Cooper en el condensado se traduce en un aumento de la inductancia cinética. Si el resonador además de la inductancia geométrica es sensible a la inductancia cinética, esta disminución es detectada como un cambio en la frecuencia de resonancia (y un aumento de la disipación). Este es el principio de detección de los KIDs (kinetic inductance detectors) que hoy en día son candidatos para ser empleados como pixeles en las cámaras que buscan detectar los fotones del fondo cósmico de radiación micro-ondas [24]. La idea de la propuesta es utilizar Al granular [25] o Al/InAs [26] para tener una gran inductancia cinética.

Referencias

- [1] Sebastian Gallardo, Daniel Dominguez, Maria Jose Sanchez, Dissipative entanglement generation between two qubits parametrically driven and coupled to a resonator, acceptor in PR A.
- [2] A. Blais, R.-S. Huang, A. Wallraff, S. M. Girvin, and R. J. Schoelkopf, Phys. Rev. A 69, 062320 (2004).
- [3] A. Wallraff, D. I. Schuster, A. Blais, L. Frunzio, R.-S. Huang, J. Majer, S. Kumar, S. M. Girvin, and R. J. Schoelkopf, Nature 431, 162 (2004).
- [4] X. Gu, A. F. Kockum, A. Miranowicz, Y.-x. Liu, and F. Nori, Physics Reports 718, 1 (2017).
- [5] A. Blais, S. M. Girvin, and W. Oliver, Nature Physics 16, 10 247 (2020).
- [6] W. D. Oliver, Y. Yu, J. C. Lee, K. K. Berggren, L. S. Levitov, and T. P. Orlando, Science 310, 1653

(2005).

- [7] D. M. Berns, W. D. Oliver, S. O. Valenzuela et al, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 150502 (2006).
- [8] D. M. Berns, M. S. Rudner, S. O. Valenzuela et al, *Nature* **455**, 51 (2008).
- [9] A. Ferrón, D. Dominguez and M. J. Sánchez, *Pys. Rev. Lett.* **109**, 237005 (2012).
- [10] A. Ferrón, D. Dominguez and M. J. Sánchez, *Phys. Rev. B* **93**, 064521 (2016).
- [11] M. Bonifacio, D. Dominguez and M. J. Sánchez, *Phys. Rev. B* **101**, 245415 (2020).
- [12] S. Gallardo, Tesis de Maestría, IB (2022).
- [13] Th. Schäpers, *Superconductor/Semiconductor Junctions*, Springer (2001).
- [14] M. Kjaergaard, *Proximity induced Superconducting Properties in one and two dimensional semiconductors*, Ph.D. Thesis Copenhagen University (2015).
- [15] J. Shabani, et al, *Two-dimensional epitaxial superconductor-semiconductor heterostructures: A platform for topological superconducting networks*, *Phys. Rev, B* **93** 155402(2016).
- [16] M. Kjaergaard et al, *Quantized conductance doubling and hard gap in a two-dimensional semiconductor–superconductor heterostructure*, *Nature Communications* **7** 12841(2016)
- [17] M. Kjaergaard et al, *Transparent Semiconductor-Superconductor Interface and Induced Gap in an Epitaxial Heterostructure Josephson Junction*, *Phys. Rev. Appl* **7** 034029(2017)
- [18] J. Sue Lee et al, *Transport studies of epi-Al/InAs 2DEG systems for required building-blocks in topological superconductor networks*, arXiv:1705.05049
- [19] K. S. Wickramasinghe et al, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 262104 (2018).
- [20] W. Mayer et al, *Superconducting proximity effect in epitaxial Al-InAs heterostructures*, *Appl. Phys. Lett.* **114**, 103104 (2019).
- [21] L. Casparis et al, *Superconducting gatemon qubit based on a proximitized two-dimensional electron gas*, *Nature Nanotechnolog* **13** 915(2018).
- [22] G Butseraen, A Ranadive, N Aparicio, et al. *A gate-tunable graphene Josephson parametric amplifier*. arXiv:2204.02175
- [23] X. Zhou et al., *High-gain weakly nonlinear flux-modulated Josephson parametric amplifier using a SQUID array* , *Phys. Rev. B* **89**, 214517 (2014)
- [24] Peter K. Day, *A broadband superconducting detector suitable for use in large arrays*, *Nature* **425**, 817 (2003)
- [25] L. Grünhaupt et al, *Granular aluminium as a superconducting material for high-impedance quantum circuits*, *Nat. Mater.* **18**, 816–819 (2019).
- [26] D. Phan, *Detecting induced p+ip pairing at the Al-InAs interface with a quantum microwave circuit*, arXiv:2107.03695

Metodología principal: **Experimental**

Metodología secundaria: **Computacional**

Información adicional:

¿Propone que el tema sea considerado para suplemento de beca por tema prioritario?**SÍ**

Justifique porqué su propuesta debe ser considerada como tema prioritario:**El desarrollo de tecnologías cuánticas es un tema prioritario del país como lo muestra la iniciativa cuántica que está siendo impulsada por el ministerio. Es también un tema prioritario de la CNEA como lo indica la creación del Bapin de Tecnologías Cuánticas.**

Indique Gerente o Jefe de Departamento que avala su petición:**Gonzalo Usaj, Hernán Pastoriza**