Circuitos cuánticos con espín: el qubit de espín de Andreev y su integración en plataformas híbridas.

FURLÁN LLODRÁ, Octavio[1,*]; MANUEL, Luis [1, 2]; TOSI, Leandro[3]

[1] Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
[2] Instituto de Física Rosario (CONICET - UNR), Rosario, Argentina
[3] Instituto Balseiro (UNCuyo-CNEA), Bariloche, Argentina
*email: octavio.furlan.llodra@gmail.com

Palabras claves: qubit, espín, cuántica

XX Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación

RESUMEN

En este trabajo incorporamos la textura de espín de los estados ligados de Andreev, presente en junturas mesoscópicas reales, a través de la interacción espín-órbita, que da lugar a una supercorriente dependiente de espín y a un desdoblamiento de espín de los estados de Andreev. Estudiamos modelos efectivos que incorporan este acoplamiento espín-órbita al esquema S-QD-S, dando lugar a los denominados Andreev Spin Qubits (ASQ). Analizamos el origen microscópico de dicho acoplamiento efectivo entre espines y su dependencia con los parámetros de la juntura. A partir de este modelo, aplicamos el protocolo LZS para caracterizar espectroscópicamente el sistema acoplado y para identificar regímenes de forzamiento periódico en los que el sistema opera como compuerta cuántica de un qubit.

MODELO

Inicialmente el Hamiltoniano del **Quantum Dot** se expresa, en la base QD vacío, QD doblemente ocupado, como [1]:

$$\hat{H}_{QD} = \begin{bmatrix} 0 & \Gamma_1 e^{i\hat{\phi}/2} + \Gamma_2 e^{-i\hat{\phi}/2} \\ \Gamma_1 e^{-i\hat{\phi}/2} + \Gamma_2 e^{i\hat{\phi}/2} & 2\epsilon_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

Cuyos autovalores son las energías asociadas a los **estados ligados de Andreev** [1]:

$$E_A(\phi) = \pm\sqrt{\epsilon_r^2 + \Gamma^2 cos^2(\phi/2) + \delta\Gamma^2 sin^2(\phi/2)}$$

A partir de esto, incorporamos las **contribuciones debido al espín**, suponiendo que el QD está ocupado por un único electrón, tenemos [2]:

$$\hat{H}_0 = (\frac{E_j}{2} - \frac{i\epsilon_{so}\sigma_z}{2})e^{i\frac{\hat{\phi}}{2}} + H.C.$$

Donde E_j es la energía asociada a (1) y el término con ϵ_{so} corresponde a las energías de los diferentes espines.

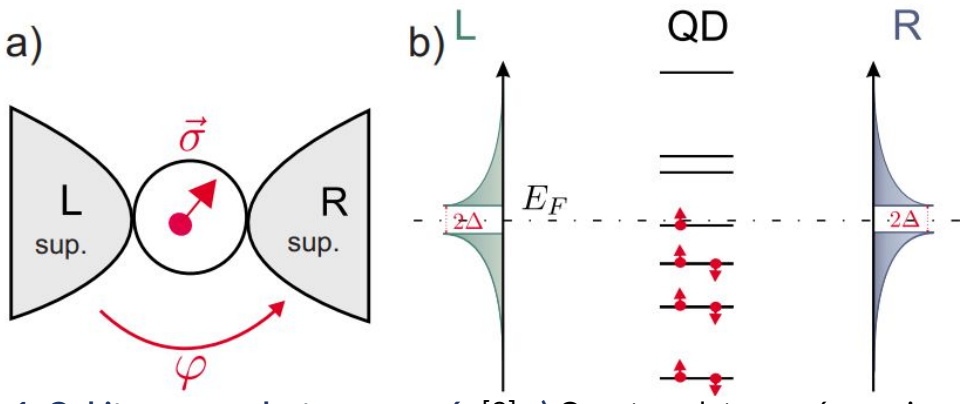


Fig.1: Qubit superconductor con espín.[2] **a)** Quantum dot con número impar de electrones conectado a leads L y R superconductoras con una diferencia de fase. **b)** Niveles de energía entre QD y leads superconductoras.

Teniendo en cuenta el **circuito cuántico tipo CPB/transmon** reemplazamos la juntura túnel por el QD con espín.

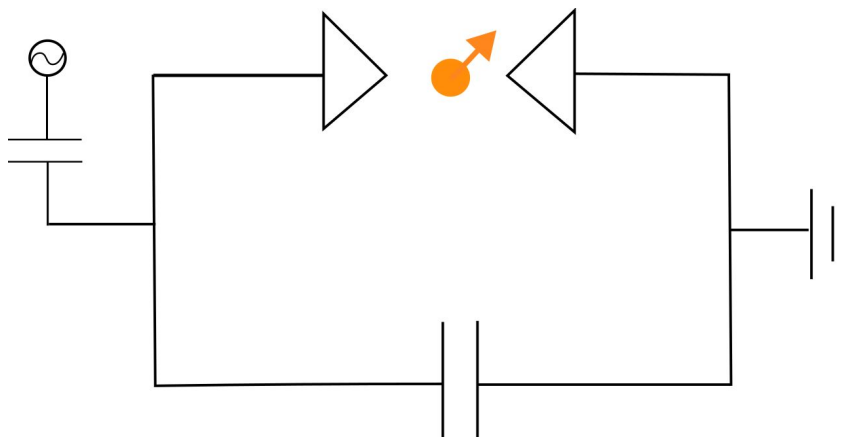


Fig.2: esquema de circuito de carga con QD con espín reemplazando la juntura túnel.

El **Hamiltoniano efectivo** que describe a este sistema es [2] :

$$\hat{\mathbf{H}} = 4\mathbf{E_c}(\hat{\mathbf{n}} - \mathbf{n_g})^2 + \left((\frac{\mathbf{E_j}}{2} - \frac{\mathbf{i}\epsilon_{\mathbf{so}}\sigma_{\mathbf{z}}}{2})\mathbf{e}^{\mathbf{i}\frac{\hat{\phi}}{2}} + \mathbf{H.C.}\right) \quad (2)$$

RESULTADOS

Espectro de energía del Hamiltoniano (2)

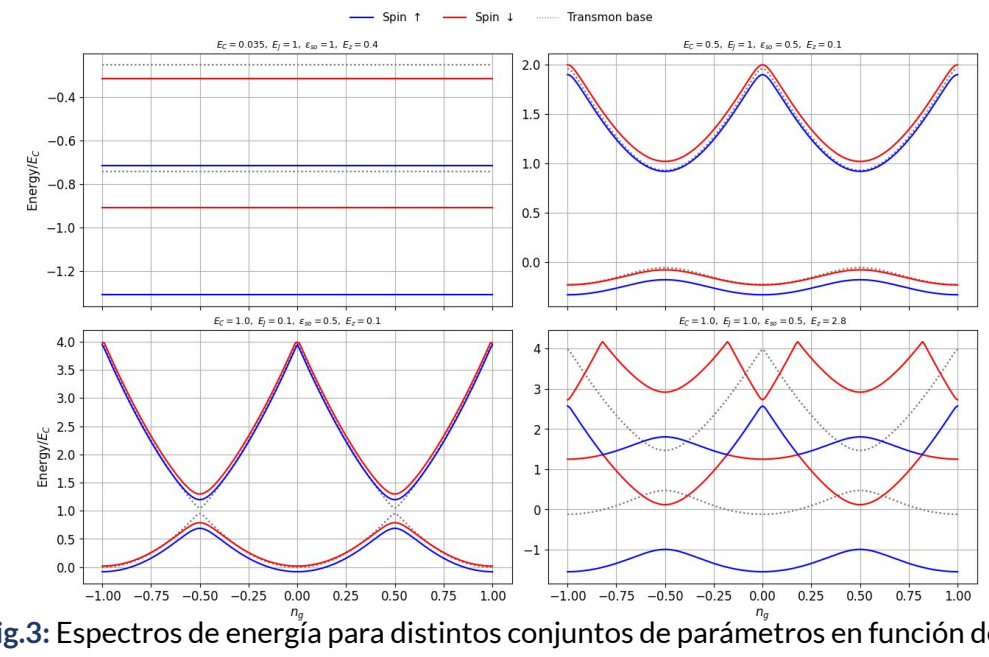


Fig.3: Espectros de energía para distintos conjuntos de parámetros en función de n_g.

Espectroscopía mediante interferometría LZS

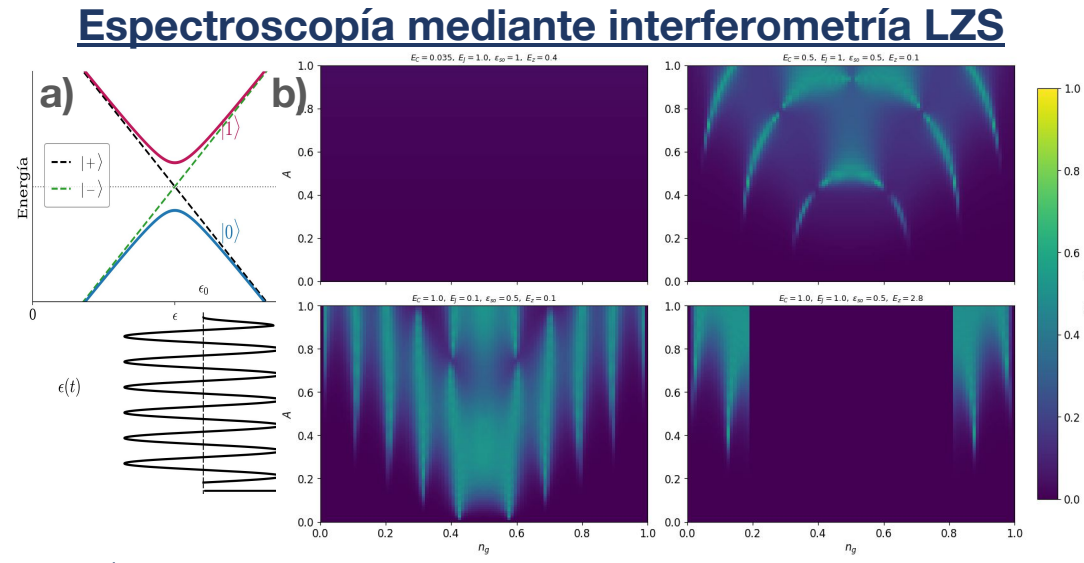


Fig.4: a) Energías de un **sistema de dos niveles con anticruce** en función del parámetro ϵ. Debajo se ilustra un forzamiento periódico en ϵ. [3] **b) Probabilidad promedio de transición** desde estado fundamental a segundo excitado a lo largo de 20 períodos en función de la amplitud del forzamiento y de la carga de offset para distintos conjuntos de parámetros.

Compuertas LZS

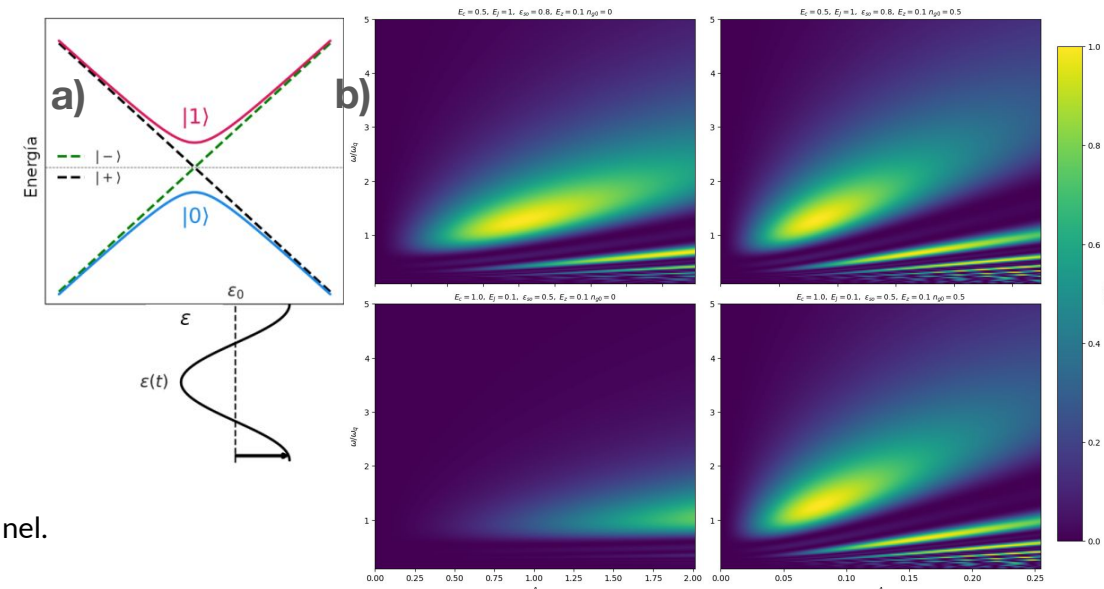


Fig.5: a) Energías de un **sistema de dos niveles con anticruce** en función del parámetro ϵ. Debajo se ilustra un forzamiento periódico en ϵ. [3] **b) Probabilidad de transición al segundo excitado** luego de un período en función de la amplitud del forzamiento y la frecuencia de *driving* .

CONCLUSIONES

- Se determinó el espectro de energía del circuito con una juntura Josephson tipo S-QD-S con espín permitiendo observar la ruptura de la degeneración de Kramers mediante el término espín-órbita.
- La espectroscopía mediante interferometría LZS permite caracterizar la estructura de niveles del sistema, a través del mapa de probabilidad promedio.
- Un único período de forzamiento alcanza probabilidades de transición alta en una región extendida del plano (A,ω), con leakage despreciable al resto de los niveles.

REFERENCIAS

[1] T. Vakhtel and B. van Heck, "Quantum phase slips in a resonant Josephson junction", Phys. Rev. B 107, 195405 (2023).
[2] Padurariu, C., & Nazarov, Yu. V. (2010). Theoretical proposal for superconducting spin qubits. *Physical Review B*, *81*(14), 144519.
[3] S. N. Shevchenko, S. Ashhab, and F. Nori, "Landau-Zener-Stückelberg interferometry", Phys. Rep. 492, 1 (2010).