

Amplificación de señales emitidas por sensores cuánticos en resonancia magnética a través de transferencias de polarización

Propuesta de tesis para la Maestría en Ciencias Física y Maestría en Física Médica

Lugar de trabajo: Laboratorio de Espectroscopia e Imágenes por Resonancia Magnética Nuclear - Departamento de Física Médica - Centro Atómico Bariloche

Director: Dr. Gonzalo A. Alvarez (Física - CAB),

Codirector: Dra. Analia Zwick (Física - CAB)

Colaboradores: Dr. Lucio Frydman (Instituto Weizmann, Israel), Dr. Noam Shemesh (Champalimaud Centre for the Unknown), Dr. Dieter Suter (Universidad de Dortmund, Alemania), Dr. Gershon Kurizki (Instituto Weizmann, Israel)

Orientación: Física en Medicina y Biología

Orientación alternativa: Materia Condensada

Metodología: Experimental y/o Teórica (según tu interés y vocación)

Contacto: gonzalo.alvarez@cab.cnea.gov.ar

La espectroscopia e imágenes por resonancia magnética nuclear (RMN y MRI) son poderosas herramientas no invasivas para investigación en física, biología y química, así como para el diagnóstico médico. La resonancia magnética controla el comportamiento de los núcleos y electrones, con el fin de observar los entornos de átomos y moléculas de manera no invasiva. Un ejemplo familiar es el de MRI, donde la señal emitida por los protones de las moléculas de agua se manipula para generar imágenes de los tejidos de los organismos vivos [1-3]. Los protones tienen una característica intrínseca llamada espín, que les otorga propiedades magnéticas. Estos pequeños imanes se pueden alinear con imanes fuertes; si está lo suficientemente alineado ("polarizado"), las señales emitidas por estas "agujas de una brújula cuántica" se vuelven lo suficientemente fuertes como para ser detectadas. Cuanto mayor es la polarización, más fácil es observar características más pequeñas y/o propiedades más sutiles de moléculas y tejidos [4-5].

Una forma de mejorar la alineación/polarización de los espines nucleares es enfriar el sistema a temperaturas criogénicas. Esto puede implementarse para ciertos sistemas "no vivos", pero claramente no "in vivo". Recientemente, hemos demostrado que combinando técnicas de resonancia magnética con láser, las señales emitidas por los núcleos de carbono en ciertos tipos de diamantes se potencian incluso a temperatura ambiente, imitando los efectos que tendría el mismo a bajas temperaturas [5]. Esto lo logramos usando láser para alinear (polarizar) los espines electrónicos que se encuentran cerca de los núcleos, y ponerlos luego efectivamente en contacto entre sí para permitir que el primero alinee efectivamente a los últimos. Esto se logró combinando la irradiación de láser con radiación de microondas. Todo, mientras que la temperatura del sistema macroscópico permanecía a temperatura ambiente. Este truco no se puede usar con cualquier material y requiere un tipo especial de diamantes "impuros" llamados defecto de vacancia de nitrógeno (NVC). Este mecanismo de alinear los espines nucleares más de lo que lo hacen habitualmente, se llama

hiperpolarización en la jerga de la resonancia magnética, ya que esto polariza u orienta los espines con ordenes de magnitud de mejora.

El objetivo de esta tesis es hacer estos métodos más robustos y versátiles [5,6], para que puedan implementarse de forma rutinaria y puedan ser útiles para obtener imágenes del tejido de organismos vivos. Dependiendo el interés del estudiante se trabajará con teoría de sistemas cuánticos abiertos o simulaciones numéricas, implementando control cuántico con campos electromagnéticos o mediciones proyectivas. Se espera que los resultados de esta tesis contribuyan a utilizar nano-diamantes como trazadores para generar imágenes médicas previamente inyectados al cuerpo, o alternativamente para utilizarlos para polarizar soluciones líquidas biocompatibles polarizadas a través del contacto con los diamantes. Los principios físicos de esta técnica también podrían ayudar a desarrollar nuevas tecnologías, como las computadoras cuánticas, que utilizan las propiedades cuánticas de los espines nucleares en lugar de los estados binarios clásicos para realizar los cálculos [7-10].

- 1 G. A. Álvarez, N. Shemesh, and L. Frydman, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 080404 (2013).
- 2 N. Shemesh, G. A. Álvarez, and L. Frydman, *PLoS ONE* **10**, e0133201 (2015).
- 3 G. A. Álvarez, N. Shemesh, and L. Frydman, *Sci. Rep.* **7**, 3311 (2017).
- 4 R Fischer, C O Bretschneider, P London, D Budker, D Gershoni, L. Frydman. *Phys. Rev. Lett.* **111**, 057601 (2013).
- 5 G. A. Álvarez, C. O. Bretschneider, R. Fischer, P. London, H. Kanda, S. Onoda, J. Isoya, D. Gershoni, and L. Frydman, *Nat. Commun.* **6**, 8456 (2015).
- 6 C. O. Bretschneider, G. A. Álvarez, G. Kurizki, and L. Frydman, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 140403 (2012).
- 7 G. A. Álvarez and D. Suter, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 230403 (2010).
- 8 A. Zwick, G.A. Álvarez, G. Bentsky, and G. Kurizki. *New J. Phys.* **16**, 065021 (2014).
- 9 G. A. Álvarez, D. Suter, and R. Kaiser, *Science* **349**, 846 (2015).
- 10 A. Zwick, G.A. Álvarez, J. Stolze, and O. Osenda. *Phys. Rev. A* **84**, 022311 (2011). *ibid.* *Phys. Rev. A* **85**, 012318 (2012).