
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

Carmem Maia Gilardoni

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

Carmem Maia Gilardoni

Título do Projeto: Sensores quânticos: desenvolvimento de dispositivos e técnicas experimentais

Palavra-chave: Spins, Tecnologias Quânticas, Óptica Quântica, Ressonância Magnética

Área de conhecimento: Física quântica, óptica quântica, ressonância magnética

Pré-requisitos desejáveis (se houver): 2º ano da graduação.

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

Possibilidade de orientação remota:

() Sim

(x) Não

Rio de Janeiro, 18 de Agosto de 2025

PROJETO:
(Máximo de 3 páginas)

O projeto em questão tem por objetivo inserir o aluno na investigação científica e o desenvolvimento de habilidades em técnicas de ressonância magnética e medidas ópticas por meio do desenvolvimento de sequências de pulsos de microondas para o controle do estado de spin de defeitos opticamente ativos em materiais com bandgap largo. A/O aluna/o atuará no contexto de projetos colaborativos como a Rede Rio Quântica e projetos individuais da pesquisadora principal financiados pela FAPERJ (MaCalQu, edital 22/2024 FAPERJ), e pelo programa Ciência Pioneira (IDOR), ganhando experiência com o desenvolvimento de um projeto deste porte.

O desenvolvimento de tecnologias de computação, comunicação e metrologia quânticas depende da existência de sistemas que funcionem como memórias quânticas locais que podem ser conectadas com fótons capazes de transmitir informação quântica a longas distâncias. Defeitos no estado sólido com interfaces ópticas e spin não-nulo podem cumprir este papel ao serem utilizados como sensores quânticos ou como interlinks em redes de comunicação quânticas. Um candidato prototípico para estas implementações é o sistema NV no diamante, formado quando um átomo de nitrogênio substitui um átomo de carbono próximo a um centro de vacância na rede cristalina do diamante [1-3]. Esses defeitos exibem estados eletrônicos com propriedades quânticas notáveis, incluindo longos tempos de coerência e a capacidade de serem inicializados e lidos opticamente, o que os torna ideais para aplicações de sensoriamento [4, 5]. O controle de spin nestes sistemas se dá, tipicamente, por meio de campos de microondas. **Este projeto visa o desenvolvimento e a implementação de sequências de pulsos específicas para a caracterização e extensão do tempo de coerência destes defeitos. Estas sequências de pulsos permitem detectar espécies nucleares específicas e campos magnéticos AC, com possível aplicação para o desenvolvimento de tecnologias de ressonância magnética in-vitro.**

Métodos

O controle efetivo do estado de spin das interfaces spin-fóton é passo fundamental para a realização de operações quânticas e o sensoriamento baseado nestes sistemas. Nos sistemas NV, a manipulação de spins eletrônicos é, em geral, feita com base em pulsos de microondas (alguns GHz de frequência),

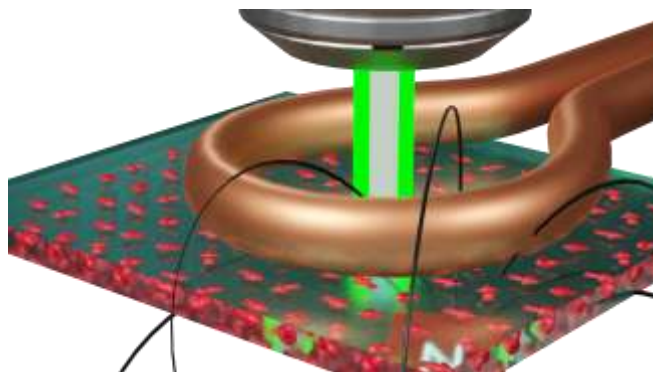


Figura 1: Esquema do setup experimental, com uma guia de microondas, objetiva para iluminação e amostra de diamante com ensemble de NVs.

enquanto spins nucleares podem ser manipulados com pulsos de rádio-frequência (RF). O spin eletrônico e os spins nucleares interagem por meio da interação hiperfina, e esta interação modifica a evolução do estado quântico do spin eletrônico. É possível desenhar sequências de pulsos para a manipulação do spin eletrônico, inspiradas em sequências de pulsos utilizadas em experimentos de ressonância magnética nuclear, que funcionam como funções filtro e permitem, assim, isolar o efeito de espécies nucleares específicas, permitindo a detecção de pequenas concentrações destas espécies nucleares [6,7]. Este projeto tem por objetivo desenhar e implementar estas sequências de pulsos, focando na detecção de spins nucleares específicos como ^{13}C , ^1H , ^{19}F . Estas espécies nucleares têm grande relevância para estudos de amostras biológicas. O/A estudante irá usar suites de python como o Qiskit para desenhar e simular as sequências de pulsos, e estará envolvido no desenvolvimento e teste do software de realização do experimento.

Cronograma

O projeto tem previsão de 12 meses de duração. As atividades envolvidas são:

- **Mês 1 a 12:** Discussão continuada da bibliografia, metodologia, e andamento do projeto. Reuniões quinzenais.
- **Mês 1 a 3:** Familiarização com os softwares de controle de pulsos de microondas, e desenvolvimento do software de controle experimental.
- **Mês 4 a 6:** Demonstração de controle dos spins eletrônicos com pulsos de microondas. Caracterização dos tempos de coerência dos spins eletrônicos e extensão da coerência usando ecos.
- **Mês 6 a 7:** Demonstração de detecção de ^{13}C no cristal.

- **Mês 8 a 9:** Demonstração de detecção de ^1H superficial.
- **Mês 10 a 12:** Análise dos resultados, confecção de relatório interno e preparação para apresentação.

Referências

- [1] Maze, J. R., A. Gali, E. Togan, Y. Chu, A. Trifonov, E. Kaxiras, and M. D. Lukin. "Properties of nitrogen-vacancy centers in diamond: the group theoretic approach." *New Journal of Physics* **13**, 025025 (2011).
- [2] Doherty, M. W., N. B. Manson, P. Delaney, F. Jelezko, J. Wrachtrup, and L. CL Hollenberg. "The nitrogen-vacancy colour centre in diamond." *Physics Reports* **528**, 1 (2013).
- [3] F. Jelezko e J. Wrachtrup. "Single defect centres in diamond: A review". *Phys. Stat. Sol. (a)* **203** 3207 (2006).
- [4] Degen, C. L., M. Poggio, H. J. Mamin, C. T. Rettner, and D. Rugar. "Nanoscale magnetic resonance imaging." *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106**, 1313 (2009).
- [5] Taylor, J. M., P. Cappellaro, L. Childress, L. Jiang, D. Budker, P. R. Hemmer, A. Yacoby, R. Walsworth, and M. D. Lukin. "High-sensitivity diamond magnetometer with nanoscale resolution." *Nature Physics* **4**, 810 (2008).
- [6] Holzgrafe, J., Gu, Q., Beitner, J., Kara, D. M., Knowles, H. S., & Atatüre, M. "Nanoscale NMR spectroscopy using nanodiamond quantum sensors". *Physical Review Applied*, **13**, 044004 (2020).