
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

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

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

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

Título do Projeto: Deconvolução entre o Efeito Hall Orbital e o Efeito Hall de Spin

Palavra-chave: Efeito Hall de Spin, Efeito Hall Orbital, Spin Pumping, Spintrônica, ressonância Ferromagnética

Área de conhecimento: Nanomagnetismo, Matéria Condensada

Pré-requisitos desejáveis (se houver): Estudantes a partir do 2º período de bacharelado de física ou nanotecnologia

Pré-requisitos obrigatórios (se houver): Estudantes a partir do 2º período de bacharelado de física ou nanotecnologia

Possibilidade de orientação remota:

(X) Sim

() Não

Rio de Janeiro, 12 de fevereiro de 2026

PROJETO:

Projeto de IC: Deconvolução entre o Efeito Hall Orbital e o Efeito Hall de Spin

Orientador: Flávio Garcia

1. Introdução

É sabido que a eletrônica atual deixará de ser viável à medida que os dispositivos (transistores, entre outros) diminuirão ainda mais seu tamanho. Os últimos lançamentos da Intel: os chips têm em torno de 100 bilhões de transistores, com quantidade considerável de aquecimento. Neste cenário, surge como proposta a Spintrônica. A ideia é considerar não somente a carga dos elétrons, como é na eletrônica tradicional, mas também o spin. A geração, manipulação e detecção de corrente de spin passou a ser de grande interesse tanto do meio acadêmico quanto da indústria, muito por conta de uma mínima dissipação térmica na propagação da corrente, e, portanto, informação. Entre os efeitos mais estudados na Spintrônica citamos o efeito Hall de spin (spin Hall effect, SHE), seu recíproco termodinâmico (ISHE) e o bombeamento de spins (spin pumping, SP).

2. Objetivos

O presente projeto visa estudar a deconvolução entre o efeito Hall orbital e o efeito Hall de spin, buscando compreender as relações entre esses fenômenos e suas implicações para o transporte eletrônico em materiais complexos. A crescente relevância da conversão de momento angular em carga elétrica em heteroestruturas magnéticas motiva este estudo, uma vez que novas descobertas podem ter impactos significativos na spintrônica e na eletrônica quântica.

O objetivo principal deste trabalho é investigar, via spin pumping, a injeção de momento angular (seja ele orbital ou de spin) em heteroestruturas FM/NM (ferromagnético/não magnético). Especificamente, buscaremos determinar:

- Qual tipo de momento angular (orbital ou de spin) é injetado por diferentes FM em NM.
- Como diferentes NM convertem esses momentos angulares em carga elétrica.
- A relação entre os efeitos Hall orbital e de spin.

3. Metodologia

A metodologia empregada consistirá na fabricação e caracterização de heteroestruturas FM/NM com propriedades específicas de injeção e conversão de momento angular. Entre os materiais a serem estudados, destacamos:

- **Ferromagnéticos (FM):** Permalloy (Py) e Níquel (Ni), onde o Py injeta predominantemente momento de spin e o Ni momento orbital.
- **Não Magnéticos (NM):** Titânio (Ti) e Manganês (Mn), teoricamente eficientes na conversão de momento orbital em carga, e Platina (Pt) e Tungstênio (W), que convertem spin em carga, mas apresentam menor eficiência na conversão de momento orbital.

A caracterização será feita por técnicas experimentais como espectroscopia de ressonância paramagnética, ISHE, e ressonância ferromagnética. Os dados obtidos serão analisados a fim de separar as contribuições do efeito Hall orbital e do efeito Hall de spin.

4. Resultados Esperados

Com este estudo, espera-se contribuir para o entendimento do papel de diferentes heteroestruturas na conversão de momento angular em carga elétrica. A distinção entre os efeitos Hall orbital e de spin permitirá uma melhor

compreensão dos mecanismos subjacentes ao transporte de spin, com potenciais aplicações no desenvolvimento de dispositivos spintrônicos mais eficientes.

5. Conclusão

A investigação da interação entre os efeitos Hall orbital e de spin é um tema atual e relevante na física da matéria condensada. Este trabalho fornecerá novos insights sobre a conversão de momento angular e poderá abrir caminhos para novas aplicações tecnológicas em spintrônica e eletrônica baseada em efeitos orbitais.

6. Referências

Disentangling edge and bulk spin-to-charge interconversion in MoS₂ monolayer flakes. Rodrigo Torrão Victor, Syed Hamza Safeer, John F. R. Marroquin, Marcio Costa, Jorlandio F. Felix, Victor Carozo, Luiz C. Sampaio, Flavio Garcia, Nat Commun 16, 3075 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58119-4>

Curved Nanomagnets: An Archetype for the Skymionic States at Ambient Conditions Click to copy article link. Danian A. Dugato, Wesley B. F. Jalil, Ramon Cardias, Marcelo Albuquerque, Marcio Costa, Trevor P. Almeida, Kayla Fallon, András Kovács, Stephen McVitie, Rafal E. Dunin-Borkowski, Flavio Garcia, Nano Lett. 2025, 25, 22, 8901–8908 - <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5c00773>

Observation of long-range orbital transport and giant orbital torque. Hiroki Hayashi, Daegeun Jo, Dongwook Go, Tenghua Gao, Satoshi Haku, Yuriy Mokrousov, Hyun-Woo Lee & Kazuya Ando, Comm. Phys. - <https://doi.org/10.1038/s42005-023-01139-7>

Orbital torque in magnetic bilayers. Dongjoon Lee, Dongwook Go, Hyeon-Jong Park, Wonmin Jeong, Hye-Won Ko, Deokhyun Yun, Daegeun Jo, Soogil Lee, Gyungchoon Go, Jung Hyun Oh, Kab-Jin Kim, Byong-Guk Park, Byoung-Chul Min, Hyun Cheol Koo, Hyun-Woo Lee, OukJae Lee & Kyung-Jin Lee - <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26650-9>

First-principles calculation of orbital Hall effect by Wannier interpolation: Role of orbital dependence of the anomalous position. GO, D. et al. Physical Review B, v. 109, n. 174435, 2024.

Observation of Long-Range Current-Induced Torque in Ni/Pt Bilayers. Hiroyuki Moriya, Mari Taniguchi, Daegeun Jo, Dongwook Go, Nozomi Soya, Hiroki Hayashi, Yuriy Mokrousov, Hyun-Woo Lee, and Kazuya Ando <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.3c05102>

Systematic variation of spin-orbit coupling with d-orbital filling: Large inverse spin Hall effect in 3d transition metals. Chunhui Du, Hailong Wang, Fengyuan Yang, and P. Chris Hammel - DOI: 10.1103/PhysRevB.90.140407



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO





MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO





MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

