

Materiais quânticos e magnetismo

Projeto científico para formação de pesquisadores · CBPF

Motivação e objetivo

Compreender e controlar as interações entre carga, spin e momento angular orbital é um desafio central da física da matéria condensada. Em materiais quânticos, interfaces e estruturas de dimensionalidade reduzida, essas interações podem produzir propriedades eletrônicas e magnéticas que dependem fortemente da composição, da simetria e da geometria. Explorar essa dependência permite investigar novos mecanismos de transporte de informação e a formação de estados magnéticos com estabilidade e dinâmica próprias.

O objetivo é investigar a geração, o transporte e a conversão de momento angular e a formação de texturas magnéticas topológicas, articulando crescimento de cristais, materiais bidimensionais, nanomagnetismo e modelagem teórica. A pesquisa integra a Plataforma Institucional em Materiais Quânticos, Spintrônica e Estruturas Topológicas para Tecnologias Emergentes, coordenada por Flávio Garcia no CBPF, e oferece temas para trajetórias de formação em mestrado e doutorado.

Linhas de pesquisa

1 Spintrônica e orbitrônica

Investigar como correntes de carga geram e detectam fluxos de momento angular de spin e orbital em materiais e heteroestruturas. O foco está em distinguir os mecanismos de conversão, compreender o papel do acoplamento spin-órbita e identificar como interfaces, estados eletrônicos de borda e dimensionalidade modificam o transporte. Serão exploradas combinações de materiais magnéticos, metais e sistemas bidimensionais, buscando relações entre estrutura eletrônica e eficiência de conversão.

2 Crescimento de cristais e materiais quânticos

Desenvolver cristais e investigar como composição, estrutura cristalina e qualidade das amostras determinam suas propriedades eletrônicas e magnéticas. O crescimento será orientado por questões científicas: quais condições favorecem determinada ordem magnética, como a composição altera as interações relevantes e como essas propriedades evoluem ao reduzir a dimensionalidade? Cristais, materiais em camadas e heteroestruturas constituirão sistemas complementares para estabelecer essas relações e selecionar materiais para estudos de spintrônica e orbitrônica.

3 Nanomagnetismo e texturas magnéticas topológicas

Estudar a formação, a estabilidade e a dinâmica de skyrmions, skyrmioniums e outras configurações magnéticas em sistemas planos, tridimensionais e curvos. Serão investigadas as relações entre confinamento, curvatura, anisotropia e interações magnéticas que selecionam cada estado. A pesquisa buscará identificar condições de estabilização e mecanismos de controle dessas texturas, bem como sua resposta a campos e excitações, conectando a geometria dos materiais às possibilidades de manipulação da magnetização.

4 Teoria e modelagem multiescala

Desenvolver descrições teóricas das propriedades eletrônicas e magnéticas, do transporte de momento angular e da dinâmica das texturas. Cálculos de primeiros princípios, modelos de transporte e simulações micromagnéticas permitirão relacionar interações microscópicas a comportamentos observáveis. A teoria terá papel tanto na formulação de previsões e na escolha de sistemas promissores quanto na interpretação dos resultados experimentais, com projetos próprios e oportunidades de investigação conjunta.

Integração entre teoria e experimento

Cada participante desenvolverá uma pergunta científica delimitada em uma ou mais linhas. Os projetos experimentais poderão investigar relações entre composição, dimensionalidade e resposta magnética ou eletrônica; os teóricos poderão identificar mecanismos, calcular propriedades e propor condições para observação de novos comportamentos. A discussão conjunta dos resultados orientará a escolha de materiais e a reformulação das hipóteses, mantendo o problema físico como eixo do trabalho.

Os recursos metodológicos incluem crescimento cristalino, deposição de filmes finos, exfoliação e transferência de materiais bidimensionais, micro e nanofabricação, difração de raios X, espectroscopia Raman, magnetometria, ressonância ferromagnética, magneto-óptica, transporte eletrônico e imageamento magnético, além de cálculos de primeiros princípios e simulações micromagnéticas. A escolha dependerá da pergunta de cada projeto.

Plano de trabalho e formação

A etapa inicial compreenderá o estudo da literatura, a definição das hipóteses e a escolha do sistema físico. Em seguida, serão desenvolvidos os experimentos ou cálculos, com análise crítica e discussão periódica dos resultados. A etapa de consolidação envolverá a integração das conclusões, sua apresentação em seminários e eventos e a preparação de trabalhos científicos.

Os projetos de mestrado abordarão perguntas científicas bem definidas, enquanto os de doutorado desenvolverão investigações mais amplas e originais. Os planos de pesquisa serão ajustados à formação e aos interesses de cada participante, com acompanhamento científico e integração às atividades da equipe.

Resultados esperados

Espera-se estabelecer relações entre estrutura, composição e propriedades de materiais quânticos; esclarecer mecanismos de conversão de momento angular; e identificar condições de formação e controle de texturas magnéticas topológicas. Os resultados deverão sustentar publicações, apresentações científicas e trabalhos de pós-graduação, conforme a trajetória acadêmica de cada participante.

A formação será orientada ao desenvolvimento de autonomia para formular problemas, avaliar evidências e produzir resultados originais. A integração dos participantes à equipe e às colaborações científicas do projeto contribuirá para ampliar a produção de conhecimento e fortalecer a pós-graduação do CBPF em materiais quânticos e magnetismo.