

PROJETO – DE – PESQUISA

Programa de Iniciação científica e Tecnológica CBPF

Nome do pesquisador ou tecnologista (orientador interno):

Eduardo Matzenbacher Bittar

Coordenação:

COMAN

Nome do pesquisador ou tecnologista (coorientador/colaborador externo, se houver):

N/A

Instituição de Pesquisa Externa (se houver):

N/A

Título do projeto:

Síntese e caracterização de materiais quânticos

Palavra-chave:

Supercondutividade, Magnetismo, Monocristais, Criticalidade Quântica

Área de conhecimento:

Física da matéria condensada experimental

Pré-requisito desejado (se houver):

Alunos a partir do 4^o período

Possibilidade de orientação remota: () Sim (X) Não

Resultante principal do Projeto:

- (X) Publicação (horizonte de 4 anos).
- (X) Preparação do bolsista para área científica.
- () Produto tecnológico.
- () Produto educacional ou didático.

Rio de Janeiro, 27 de março de 2023.

Projeto

Síntese e caracterização de materiais quânticos

Pesquisador Responsável: Eduardo M. Bittar

Sobre o GFM

Somos um grupo experimental de física da matéria condensada alocados no CBPF desde julho de 2013. Nosso foco é o design e a síntese de novos materiais não convencionais. Estamos interessados em supercondutividade, sistemas de férmions pesados, magnetismo localizado e itinerante, sistemas de onda de densidade de carga, transições de fase quântica e materiais topológicos, além de outros temas correlatos. Nosso objetivo é produzir materiais de alta qualidade, especialmente na forma de monocristais, buscando por compostos interessantes que mostrem propriedades físicas exóticas e com possível potencial para aplicações.

Mais informações: www.cbpf.br/~bittar

1. Introdução

Todos os materiais requerem uma descrição da mecânica quântica no seu nível microscópico para detalhar com precisão as suas propriedades físicas macroscópicas. Isso é necessário, por exemplo, para detalhar com precisão como um material conduz eletricidade ou calor. Contudo, nem todos os materiais são materiais quânticos. Para um material ser considerado quântico, tais efeitos devem se manifestar nas suas propriedades termodinâmicas e eletrônicas numa escala macroscópica. Em outras palavras, um material quântico é aquele que não é bem descrito pela mecânica estatística clássica. Esses efeitos podem estar relacionados a flutuações quânticas, emaranhamento quântico, coerência quântica e a topologia das funções de onda da mecânica quântica. Assim sendo, os materiais quânticos abrigam efeitos físicos exóticos e por isso com grande potencial tecnológico.

O termo “materiais quânticos” é bastante genérico e inclui supercondutores, grafeno, materiais topológicos, semimetais de Weyl, líquidos quânticos de spin e gelos de spin, dentre outros. Por exemplo, nos supercondutores, os elétrons formam uma onda coletiva que permeia o material e o estado coerente dessa onda eletrônica leva à perda completa da resistência elétrica e à expulsão dos campos magnéticos, de modo que um material ferromagnético levita acima dos supercondutores [Fig. 1(a)]. Do ponto de vista tecnológico, descobrir um material supercondutor de alta temperatura poderia transformar a produção, armazenamento, transmissão e utilização de energia. Outro exemplo, em materiais topológicos [Fig. 1(b)], as funções de onda da mecânica quântica dos elétrons têm uma geometria não trivial que “protege” o transporte eletrônico em forma de onda coerente em todas as superfícies e pode formar a base para uma nova geração de eletrônicos com eficiência energética.

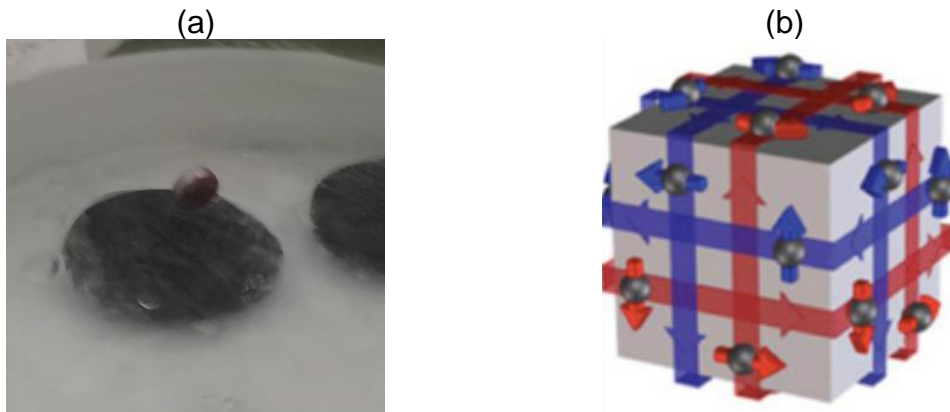


Fig. 1 – (a) Material ferromagnético (ímã) levitando acima de um composto óxido supercondutor devido à expulsão dos campos magnéticos no interior do óxido. (b) Cartum de um material topológico, indicando correntes de spin na superfície.

Os materiais quânticos também são um *playground* para uma nova física, uma vez que nesses compostos os fenômenos físicos vêm de propriedades coletivas que são inteiramente diferentes do comportamento de partículas livres. Eles despertam interesse científico pois expõem um problema que desafia experimentais e teóricos há décadas, que é entender os mecanismos microscópicos que conduzem à constituição dos fenômenos coletivos. Esses materiais são anfitriões de diversas possíveis partículas ainda não encontradas no nosso universo. Exemplos de novas partículas, teorizadas há muitos anos, e provavelmente observadas recentemente em materiais quânticos são monopolos magnéticos, férmions de Wye e Majorana, entre outras. Essas partículas e o domínio tecnológico delas tem propensão para grandes avanços em computação quântica, por exemplo.

Desse modo, o estudo e caracterização de materiais quânticos tem tendência a gerar grande desenvolvimento científico e de aplicação para a sociedade, criando dispositivos energeticamente mais eficientes, rápidos e seguros.

2. Objetivos

Este projeto de pesquisa visa estudar experimentalmente fenômenos físicos exóticos observados em materiais quânticos. Para tanto, técnicas de síntese de materiais monocristalinos serão utilizadas e a caracterização física ocorrerá por experimentos de difração de raios x, susceptibilidade magnética, calor específico e resistividade elétrica. Estaremos focados em supercondutores, isolantes topológicos, compostos férmion pesados, materiais magnéticos e sistemas com transição do tipo onda de densidade de carga.

3. Descrição das atividades

Como primeiro passo no projeto, o trabalho será concentrado na preparação dos materiais. Os métodos de fluxo metálico ou zona flutuante serão usados para síntese de monocristais [Fig. 2(a-b)]. Isso permitirá ao aluno o aprendizado dessas técnicas e suas possíveis aplicações. A técnica de fluxo metálico resume-se em crescer amostras monocristalinas em um meio com um solvente de baixo ponto de fusão, indicada para síntese de metais e semimetais. A zona flutuante é uma técnica que consiste na concentração de radiação infravermelha para obter energia para fundir localmente o material e crescer monocristais por meio de solidificação controlada, indicada para síntese de materiais óxidos (cerâmicas).

Para confirmar a existência da fase desejada e se realmente tem-se um composto monofásico, pequenos pedaços dos monocristais serão escolhidos,

triturados e caracterizados por técnicas convencionais de difração de raios x de pó. Essas medidas serão realizadas no laboratório multiusuário de cristalografia e difração de raios x do CBPF.

Para caracterizar em detalhes as propriedades magnéticas e de transporte dos sistemas escolhidos, medidas de susceptibilidade magnética, magnetização, calor específico e resistividade elétrica serão feitas. Os equipamentos necessários para executar essas medidas se encontram disponíveis no CBPF [Fig. 2(c)].

Assim, portanto, no decorrer do trabalho, além de preparar as amostras, o projeto também contempla contato com todas essas técnicas de caracterização para o entendimento das propriedades físicas de materiais quânticos. Além do trabalho experimental, para a análise dos resultados, o projeto estará lidando com diversos fundamentos da física da matéria condensada; e serão realizados cálculos teóricos quando apropriado.

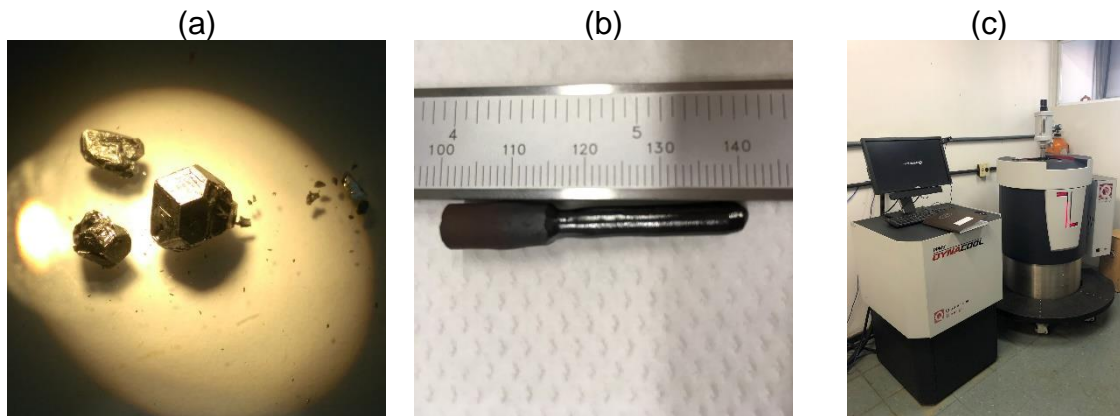


Fig. 2 – (a) Monocristais intermetálicos obtidos pela técnica de fluxo metálico. (b) Monocristal obtido pela técnica de zona flutuante. (c) Equipamento para medidas de propriedades físicas em baixas temperaturas (até $T = 2$ K) e altos campos magnéticos ($H = 9$ T).

Referências Bibliográficas

- * J. Paglione, N. P. Butch, and E. E. Rodriguez, *Fundamentals of Quantum Materials: A Practical Guide to Synthesis and Exploration*, World Scientific (2021).
- * P. Ball, *Quantum materials: Where many paths meet*, MRS Bulletin vol. 42, p.; 698 (2017).
- * B. Keimer and J. E. Moore, *The physics of quantum materials*, Nature Physics vol. 13, p. 1045 (2017).
- * R. Cava, N. Leon, and W. Xie, *Introduction: Quantum Materials*, Chemical Reviews vol. 121, p. 2777 (2021).