

Proposta para contratação de docente na área de Matéria Quântica

Justificativa científica: Os materiais que entendemos bem incluem bons isolantes/semicondutores, como silício e germânio, e bons metais simples, como prata e ouro. A teoria de bandas, implementada com grande sofisticação na atualidade por meio de simulações numéricas *ab initio*, descreve com sucesso essas situações limites. Somos capazes de entender não apenas o estado fundamental, como as excitações de baixa energia, que são bem descritas em termos de quase partículas fracamente interagentes. Eles encontraram aplicações importantes desde a aurora da física do estado sólido, em particular no desenvolvimento de chips semicondutores. No entanto, esta simplicidade tem um preço: as propriedades físicas desses materiais são altamente estáveis. Portanto, revelam-se muito difíceis de manipular ou modificar se o objetivo for atender às necessidades tecnológicas modernas ou explorar novas e interessantes tecnologias e propriedades físicas.

A situação é mais promissora, entretanto, na classe mais complexa dos chamados materiais quânticos, que unifica campos da ciência e engenharia, do átomo frio à ciência dos materiais e computação quântica. De acordo com o Departamento de Energia dos EUA (ver, por exemplo, Ciência para um Desenvolvimento Sustentável da Sociedade Brasileira de Física, pg. 75, link: https://sbfisica.org.br/arquivos/Ciencia_para_Developimento_Sustentavel_papel_fisica.pdf), os materiais quânticos são “plataformas de materiais versáteis que nos permitem explorar fenômenos quânticos emergentes, bem como seus usos potenciais na tecnologia futura”.

Como exemplo, citamos ímãs de alto desempenho usados em sistemas de energia renovável, desde motores elétricos até a recuperação de energia, desde a frenagem até a coleta de energia de moinhos de vento. Ímãs de alto desempenho requerem grandes momentos, altas temperaturas de ordenamento magnético (temperaturas de Curie) e grandes anisotropias magnetocristalinas para obter grandes coercividades: a capacidade dos ímãs permanentes de resistir à desmagnetização na presença de um campo externo. Isso reforça a importância de se maximizar a anisotropia magnética intrínseca, oriunda de efeitos de campo cristalino e acoplamento spin-órbita. Esse ajuste da anisotropia magnética também pode ser usado para modificar materiais quânticos e topológicos, como os pirocloros à base de terras raras. A interação entre valência, anisotropia e correlações também torna estes materiais altamente sensíveis a perturbações — como dopagem e pressão — o que permite um ajuste fino de suas propriedades.

O objetivo final desse programa é encontrar e estudar materiais capazes de aumentar consideravelmente nosso controle acerca da manifestação macroscópica de efeitos quânticos, tendo em vista especialmente aplicações em computação quântica e energia renovável.

Sistemas de interesse: Como exemplos de sistemas físicos nessa área citamos:

- A. Supercondutores não convencionais. Exemplos: cupratos, supercondutores à base de Fe, férmions pesados;
- B. Ímãs com fases exóticas. Exemplos: líquidos de spin, magnetos dimerizados, vidros de spin e texturas de spin topológicas, como Skyrmions;
- C. Sistemas com estrutura de banda topológica. Exemplos: isolantes e supercondutores topológicos, semimetais de Weyl, materiais de Moiré e heteroestruturas de van der Waals;
- D. Sistemas com quase partículas fracionárias. Exemplos: sistemas Hall, sistemas de baixa dimensionalidade, líquidos de spin e férmions pesados;
- E. Simuladores quânticos. Exemplos: redes ópticas, cristais temporais de Floquet, átomos de Rydberg e circuitos fotônicos;

Por se tratar sistemas complexos de muitas partículas interagentes e assuntos tão distintas, há constante demanda por novas ideias que ajudem a fazer progresso. Isso requer o desenvolvimento e avanço tanto de abordagem teóricas — novas funções de onda variacionais, abordagem perturbativas e de grupo de renormalização — bem como numéricas — métodos de diagonalização exata, métodos variacionais como o DMRG e MPS e métodos estocásticos como Monte Carlo. Mais importante, há interesse crescente em sistemas fora do equilíbrio e fenômenos novos que emergem na dinâmica de sistemas quânticos complexos. Naturalmente, tal panorama requer vários grupos trabalhando em conjunto e constantemente em contato, o que se traduz na necessidade de mão obra qualificada. A existência de grupos bem estabelecidos diversos no IFUSP ajudaria muito a criar um ambiente científico favorável, que abarcaria também diversos colegas fazendo trabalhos experimentais.

Prognósticos da área para os próximos anos: O campo da matéria quântica, embora complexo e desafiador, tem evoluído rapidamente, proporcionando aos interessados novas linhas e temas de pesquisa. Exemplos são discutidos nos seguintes artigo de revisão:

- A. *Insights* de uma edição especial da *Nature Physics* e *Nature Materials* em 2017. <https://www.nature.com/collections/ydsxkfvwvs>
- B. *The 2021 quantum materials roadmap*, publicado no *Journal of Physics: Materials* em 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7639/abb74e>
- C. *The Future of the Correlated Electron Problem*, arXiv:2010.00584. <https://arxiv.org/abs/2010.00584>.

Grande parte do futuro promissor da área vem da riqueza combinatória da tabela periódica. Com a ciência de materiais avançando rapidamente, teremos à nossa disposição uma gama crescente de materiais quânticos a serem explorados, muito deles apresentando potencialmente fases exóticas da matéria. Exemplo de sucesso desse tipo de programa nos últimos anos são os materiais de Moiré e os materiais de Kitaev, isolantes de Mott com um forte acoplamento spin-órbita. Combinado a isso, temos um grande avanço nas técnicas experimen-

tais. Nos últimos anos, medidas de transporte térmico em condições extremas, baixas temperaturas e altos campos, têm tornado-se corriqueiras. No âmbito nacional, existe uma grande expectativa com a entrada em operação completa do Sirius, que propiciará à comunidade nacional uma ferramenta de ponta para o estudo detalhado dos materiais quânticos.

Do ponto de vista de teoria, novos materiais e novas fases implicam em uma demanda pela construção de cenários robustos para o entendimento dos ricos diagramas de fases. Geralmente, precisamos ir além dos dois paradigmas de Landau: teoria dos líquidos de Fermi e teoria de transições de fase baseada em quebra de simetria. Esses pilares do entendimento microscópico da matéria falham em alguns materiais complexos e é de importância central a proposta de arcabouços gerais para avançarmos nosso conhecimento. Esse passo requer o uso de técnicas numéricas de ponta, bem como grande esforço no entendimento detalhado do funcionamento das sondas experimentais.

Em suma, no futuro esperamos:

- A. Grande esforço para a descrição do diagrama de fases de materiais complexos, tanto os existentes quanto aqueles a serem sintetizados;
- B. Aprofundamento na interpretação e explicação de medidas experimentais cada vez mais complexas e realizadas em condições extremas, como por exemplo a que serão realizadas no Sirius em breve;
- C. Avanços teóricos fundamentais para o desenvolvimento de teoria para além dos paradigmas atuais: teoria dos líquidos de Fermi e quebra de simetria;
- D. Desenvolvimento intenso de métodos computacionais sofisticados para o estudo de sistemas de muitas partículas interagentes, mesmo em situações fora do equilíbrio.

Panorama da área no Instituto: Há um forte esforço de pesquisa em novos materiais quânticos complexos em todos o planeta. É improvável que um centro de física de ponto na Europa, América do Norte e China, por exemplo, não abrigue pelo menos um grupo de investigação científica que se dedique a essa área emergente da Física de Materiais. No IFUSP, esse cenário não é diferente.

O Instituto abriga grupos **experimentais** bem estabelecidos trabalhando em tópicos como novos materiais supercondutores e óxidos magnéticos (profs. Fernando Garcia, Renato Jardim e Valentina Martelli), sistemas magnéticos frustrados (profs. Rafael Freitas, Julio Larrea e Fernando Garcia) e supercondutores não convencionais (Fernando Garcia).

Na parte de **teoria**, citamos os docentes André Vieira (sistemas interagentes e heterogêneos, dinâmica de sistemas de muitos corpos), Carlos Fiore (sistemas fora do equilíbrio e termodinâmica quântica), Eric Andrade (magnetismo frustrado e transições de fase) e Luis Gregório Dias (transporte eletrônico em sistemas mesoscópicos e materiais topológicos).

Essa área de pesquisa também toca colegas trabalhando em tópicos como Informática de Materiais, Informação Quântica e Teoria Quântica de campos, ilustrando seu rico e promissor panorama.

Impacto da contratação de um docente teórico para a pesquisa no IFUSP: Dentro desse cenário efervescente e desafiador no campo de materiais quânticos, torna-se plenamente justificada a constante busca pela contratação de profissionais jovens e promissores, com sólida formação teórica, que não apenas iniciarão uma nova linha de pesquisa no Instituto, mas também colaborarão ativamente com os grupos de pesquisa experimentais e teóricos, contribuindo positivamente para gerar um ambiente científico ainda mais vibrante e diversificado.

Outros impactos no Instituto: Notamos ainda que a abertura de concurso público nesta área é um “atrator” para candidatos com perfis mais abrangente do que os de especialistas em Sistemas Eletrônicos Fortemente Correlacionados, por exemplo pesquisadores que atuam em Teoria Quântica de Campos, Informação Quântica, ou Sistema Integráveis aplicados a problemas de muitas partículas, áreas que certamente apresentam clara intersecção com a de docentes de outros departamentos da Unidade.

Perfil do candidato: O objetivo é procurar por um jovem pesquisador de perfil independente, com interesse em aplicar e desenvolver ferramentas teóricas para entender e caracterizar materiais quânticos complexos. Grosso modo, buscamos um candidato que se encaixaria em um perfil do programa Jovem Pesquisador da FAPESP. Isso quer dizer um candidato com bom histórico de publicações com mais de um grupo de pesquisa, experiência internacional e que se mostre capaz de estabelecer uma nova linha de pesquisa ao instituto, ao mesmo tempo que dialoga com os grupos já existentes.

Contribuição para a carga didática: O perfil buscado nessa proposta passa por pessoas altamente qualificadas que são gabaritadas para lecionar os cursos de Física Básica, em todo o campus, bem como os cursos obrigatórios do Bacharelado em Física: Mecânica Clássica, Eletromagnetismo, Mecânica Quântica, Termodinâmica e Física Estatística. Também esperamos que o candidato possa contribuir com matérias optativas importantes como Física Computacional e Estado Sólido, bem como com as disciplinas de pós-graduação: Mecânica Quântica, Física Estatística, Estado Sólido e Física de Muitos Corpos.

Contribuição para atividades de extensão: Sendo um pesquisador bem estabelecido, esperamos que o potencial candidato envolva-se com atividades de extensão focadas principalmente em divulgação científica, contribuindo para trazer a visão de um profissional da área para um público amplo leigo. Um exemplo importante seria a divulgação de seus resultados, por exemplo, nos canais de divulgação da FAPESP, como a Agência FAPEPS e a revista Pesquisa FAPESP.

Prognóstico de potenciais candidatos: Dentre potenciais candidatos trabalhando no tópico, é possível destacar alguns pesquisadores brasileiros que, no momento, que se encaixam no perfil procurado e poderiam se interessar em participar do Edital:

- **Flávia Braga Ramos** (Doutorado concluído em 2016 na UFU, com experiência de pós-doc no IIP/Natal e Kaiserslauten, Alemanha).
- **Hernan Bueno Xavier** (Doutorado concluído em 2023 no IIP/Natal e com experiência de pós-doc em Trieste, Itália)
- **Pedro Monteiro CÔnsoli** (Doutorado a ser concluído em 2024 na TU Dresden, Alemanha).
- **Raphael Teixeira Levy** (Doutorado concluído em 2023 no IFUSP e início de pós-doc em breve na Universidade de Dublin, Irlanda)
- **Rodrigo Alves Pimenta** (Doutorado Concluído em 2014 na UFSCar, com experiência de pós-doc nas Universidade de Miami, EUA, Universidade de Tours, França, Universidade de Manitoba, Canadá, bem como UFSCar e IFSC.)
- **Thiago Silva Tavares** (Doutorado concluído em 2017 no UFSCar, com experiência de pós-doc em Saclay, França, e Wuppertal, Alemanha).
- **Vinicius Zampronio Pedroso** (Doutorado concluído em 2019 na Unicamp, com experiência de pós-doc no IIP, Natal, em Utrecht, Holanda, e em Florença, Itália).

Sugestões para de disciplinas de graduação para o Edital: Mecânica Quântica, Física Estatística e Introdução à Física do Estado Sólido.

Possíveis Departamentos hospedeiros: DFMT, DFGE, DFMA, DFAP.

Docentes do IFUSP que apoiam a proposta:

André Vieira — DFGE

Carlos Fiore — DFGE

Eric Andrade — DFMT

Fernando Garcia — DFAP

Luis Gregório Dias da Silva – DFMT