

Bolsa de PD em Física da Matéria Condensada

Área de conhecimento: Física

Nº do processo FAPESP: [2017/10581-1](#)

Título do projeto: Síntese e caracterização de nanofios de férmions pesados supercondutores da família CeM_nIn_{3n+2} ($M = Co, Rh, In; n = 0,1$)

Área de atuação: Física da Matéria Condensada - Experimental

Quantidade de vagas: 1

Início: 01/09/2019

Pesquisador principal: Pascoal José Giglio Pagliuso

Unidade/Instituição: IFGW-Unicamp

Data limite para inscrições: 01/08/2019

Publicado em: 18/06/2019

Localização: R. Sérgio Buarque de Holanda, 777 - Cidade Universitária, Campinas

E-mail para inscrições: pagliuso@ifi.unicamp.br

Resumo

Neste projeto estamos propondo a síntese de novos compostos intermetálicos na forma de nanofios de férmions pesados supercondutores da família CeM_nIn_{3n+2} ($M = Co, Rh, In; n = 0,1$). A síntese desse fará uso da tecnologia de produção de nanofios Nanonucleação por fluxo metálico – NNFM (Patente - INPI - BR 10 2014 019794 0 e patente internacional em progresso # WO2016023089 desenvolvida pelos pesquisadores dos grupos da Unicamp GPOMS/LMBT [parceria liderada pelos Profs. Pascoal G. Pagliuso e Kleber R. Pirola] em 2014 para a produção de nanofios [diâmetros entre 15 e 500 nm e comprimento típico de 1 micron]).

O estudo das propriedades eletrônicas, estruturais, magnéticas, de transporte e termodinâmicas desses sistemas será realizado em detalhe, usando como parâmetros de controle a dimensionalidade (e.g. diâmetros dos nanofios), campos magnéticos (≤ 14 T), altas pressões (≤ 30 kbar) e baixas temperaturas (≥ 50 mK). Para este fim, serão realizados experimentos de propriedades mais globais tais como resistividade, efeito Hall, magnetização, susceptibilidade magnética dc/ac, e calor específico. Posteriormente, amostras selecionadas serão investigadas por técnicas mais específicas tais como ressonância de spin

eletrônico (ESR) (**colaboração com Prof. Carlos Rettori**), ressonância magnética e quadrupolar Nuclear (NMR e NQR) (**colaboração com Prof. Ricardo R. Urbano**), espalhamento Raman (**colaboração com Prof. E. Granado**), difração de pó, difração magnética, análise elementar (EDS, WDS), absorção de raios-X (XANES, EXAFS, XMCD) (**colaboração com Prof. E. Granado**) e ARPES (**colaboração com Prof^a C. Adriano**).

Introdução

A área de desenvolvimento de novos materiais é uma área estratégica na execução de projetos científicos e tecnológicos de excelência nas mais variadas subáreas da Ciência. Em particular, dentro da Física da Matéria Condensada, a área de novos materiais segue em paralelo ao aprofundamento do entendimento de propriedades complexas de materiais avançados que apresentam fenômenos coletivos envolvendo elétrons fortemente correlacionados. Esses fenômenos são fortemente dependentes da dimensionalidade e ocorrem em materiais supercondutores não convencionais, sistemas tipos férmions pesados com criticalidade quântica, materiais intermetálicos magnéticos à base de terras-raras em sistemas com topológica não-trivial, etc.

No caso dos férmions pesados (HF), a série de HF supercondutores $CeMIn_5$ ($M = Rh, Ir, Co$) tem sido foco de intensa investigação científica [1-8]. Esses compostos, chamados de 1-1-5, podem ser vistos como variantes tetragonais dos compostos cúbicos $CeIn_3$. A estrutura cristalina dos $CeMIn_5$ apresenta camadas alternadas de $Ce-In_3$ e $M-In_2$ ao longo do eixo-c [6-8].

Um aspecto extremamente importante dos férmions pesados da família Ce_mMIn_{3m+2} é o fato de que o seu estado fundamental pode variar desde antiferromagnético a supercondutor dependendo da variação de parâmetros de controle tais como a pressão e a dopagem, Este é o caso do composto $CeRhIn_5$ ($\gamma \sim 400$ mJ/mol K²), que se ordena antiferromagneticamente à pressão ambiente com $T_N = 3.8$ K e exibe uma evolução ao estado supercondutor para $P > P_c = 16$ kbar, com $T_c \sim 2$ K [9].

Além das propriedades acima no composto estequiométrico $CeRhIn_5$, estudos [10] de dopagem nas ligas de $CeRh_{1-x}(Ir,Co)_xIn_5$ revelaram as amplas regiões de coexistência de AFM e SC e a robustez do estado supercondutor à dopagem são surpreendentes para esta classe de materiais. De fato, esses materiais são considerados uma plataforma excelente para o estudo dos mecanismos da supercondutividade não convencional com forte elo de ligação com as propriedades dos supercondutores à base de Fe e os cupratos supercondutores de alta temperatura crítica.

O estudo comparativo das famílias dos 1-1-5 e 1-0-3 ($n = 0$) no caso volumétrico tem permitido a investigação do papel da dimensionalidade nesses

compostos, uma vez o composto cúbico 1-0-3 é mais 3D que os compostos mais “bidimensionais” 1-1-5. O que se observou é que o AFM é favorecido para os materiais mais 3D enquanto a supercondutividade não-convencional gerada pelas flutuações magnéticas tende a ser favorecida nas estruturas mais 2D.

Nesse aspecto, o estudo do papel da dimensionalidade nos fenômenos emergentes presentes nesses sistemas ganhou nova perspectiva com o desenvolvimento do método NNFM.

A partir dos resultados obtidos em amostras monocristalinas (sistemas massivos tridimensionais, 3-D), neste projeto propomos estender esta análise a sistemas de nanofios (sistemas unidimensionais, 1-D), abrindo novos caminhos para o estudo do papel da baixa dimensionalidade nas propriedades físicas.

Devido à flexibilidade dos compostos RIn_3 e $CeMIn_5$ que permitem dopagem ou substituição nos diferentes sítios cristalográficos, estes sistemas são uma excelente oportunidade para estudar em forma sistemática o efeito da dimensionalidade nas interações RKKY, no efeito Kondo, na criticalidade quântica e, particularmente, obter um melhor entendimento da inter-relação entre magnetismo e supercondutividade não convencional em sistemas de férmions pesados.

Além da comparação das propriedades físicas entre os mesmos sistemas fabricados com dimensionalidade 1-D e 3-D, será de grande interesse a comparação entre os comportamentos dos nanofios similares dos sistemas cúbicos 1-0-3 e dos sistemas 1-1-5, no qual, mesmo nos sistemas 3-D, a estrutura cristalográfica em camadas “bidimensionais” conduz a uma necessidade de uma generalização do modelo de uma rede de Kondo, na presença de efeitos de CEF e interação RKKY, para descrever o comportamento geral do sistema.

Objetivo Específico

Usar a técnica de NNMF para sintetizar nanofios dos compostos da família de férmions pesados supercondutores $CeIn_3$ e $CeMIn_5$ ($M = Co, Rh, Ir$) e R_2MIn_8 e explorar os efeitos da dimensionalidade nas interações RKKY, nos efeitos de CEF, no efeito Kondo e na supercondutividade. Os efeitos de dimensionalidade dependem muito dos comprimentos de correlação característicos de cada uma dessas interações presentes nestes materiais intermetálicos.

Plano de trabalho, desafios e métodos

A síntese de nanofios novos compostos intermetálicos se derá pela técnica NNFM (Patente - INPI - BR 10 2014 019794 0 e patente internacional em progresso # WO2016023089 A1) amplamente dominadas pelos grupos deste temático.

Em seguida as amostras serão analisadas por difração de raios-x (Philips PW 1749 e D2 – Phaser – Bruker), técnicas de microscopia (TEM – SEM LabNano – CNPEM) e análise elementar (EDS [LabNano - CNEPM] e WDS [S8 – Tiger Bruker –GPOMS]) para confirmar a estrutura cristalina, morfologia e estequiometria das amostras produzidas. A partir daí segue-se a caracterização das propriedades físicas das amostras usando-se técnicas macroscópicas de medidas tais como calor específico, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética.

Experimentos de resistividade elétricas AC e DC (e efeito Hall) são realizados utilizando-se as plataformas comerciais PPMS-14T e PPMS-9T pertencentes aos grupos deste temático com campo magnético aplicado até 14 T e no intervalo de temperaturas de 0.3 K – 300 K e utilizando-se células de pressão comerciais (easyLab – Pistão e Diamante) que atingem até 9 GPa. Os experimentos de calor específico também serão realizados nas plataformas comerciais PPMS-14T e PPMS-9T com campo magnético aplicado até 14 T e no intervalo de temperaturas de 0.05 K – 300 K, com o uso da opção com o refrigerador de diluição.

Já os experimentos de susceptibilidade magnética AC/DC serão realizados nas plataformas PPMS 14T (opção VSM - DC), na plataforma PPMS 9T (opção ACMS AC/DC) e no novo magnetômetro SQUID-VMS solicitado neste temático e que é crucial para o desenvolvimento deste projeto devido a sua maior sensibilidade

Esperamos inicialmente concentrar-nos na síntese de nanofios da série CeIn_3 para diâmetros de 200 nm e 75 nm. Estamos convencidos que é possível, portanto, expandir o crescimento para outras terras-raras e para outras famílias 1-1-5 e também diminuir o diâmetro dos nanofios.

As membranas com os nanofios são extraídas dos cadinhos e estudadas por TEM, EDS, medidas de susceptibilidade, calor específico e difração de raios-x de pó, utilizando-se medidas apropriadas do background de Al_2O_3 em cada caso. Ainda é um desafio muito grande isolar um único nanofio realizar medidas de transporte. O desenvolvimento desta técnica também será objeto deste temático em colaboração com o grupo LMBT e Centro de Componentes Semicondutores e Nanotecnologias – Unicamp e o Centro de Nanotecnologia do LANL (Novo México, EUA).

Resultados Esperados

Com respeito aos nanofios dos sistemas HF, esperamos encontrar uma forte dependência nas propriedades de transporte, magnéticas e supercondutoras com a dimensionalidade dos sistemas. Em particular, a partir dos nossos estudos, esperamos poder construir os diagramas de fases para os sistemas quase 1-D que nos permitam inferir detalhes da interação microscópica entre

os elétrons localizados e os elétrons de condução, e suas correlações com as fases ordenadas sob efeitos de dimensões reduzidas.

Por fim, muitos artigos publicados devem decorrer desses estudos e o pós-doutor responsável por este projeto deve interagir cientificamente com os **pesquisadores colaboradores deste projeto certamente que irão se beneficiar das amostras produzidas e do conhecimento científico construído de forma organizada e colaborativa entre todos os participantes.**

A vaga está aberta a brasileiros e estrangeiros. O selecionado receberá Bolsa de Pós-Doutorado da FAPESP no valor de R\$ 7.373,10 mensais e Reserva Técnica equivalente a 15% do valor anual da bolsa para atender a despesas imprevistas e diretamente relacionadas à atividade de pesquisa.

Referências

- [1] S. Doniach, in Valence Instabilities and Related Narrow Band Phenomena, ed. R.D. Parks (Plenum, New York, 1977) p.169.
- [2] G.R. Stewart, Reviews of Modern Physics 73 (4): 797-855 OCT 2001.
- [3] M.A.Continentino, Physical Review B. 47 11587 (1993).
- [4] Robert H. Heffer and Michael R. Normal, Comments on Condensed Matters Physics 17, 361 (1996).
- [5] N. D. Mathur *et al.*, Nature 394 (6688): 39-43 (1998).
- [6] H. Hegger *et al.*, Physical Review Letters 84, 4986-9 (2000).
- [7] C. Petrovic *et al.*, Europhysics Letters 53 354-359 (2001).
- [8] C. Petrovic *et al.*, Journal of Physics: Condensed Matter 13 L337 (2001).

Link no site Fapesp: <http://fapesp.br/oportunidades/2959/>