

## Experimento 8

### SUPERCONDUTIVIDADE

Só após 46 anos da descoberta da supercondutividade por Onnes é que surgiu uma explicação bem sucedida do fenômeno. Em 1957, os físicos John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer apresentaram um modelo teórico que concordava muito bem com as observações experimentais nos supercondutores. Esse modelo ficou conhecido por Teoria BCS, das iniciais dos autores, e lhes rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1972. Bardeen já recebera outro Nobel pela invenção do transistor e, até hoje, foi o único a receber dois prêmios de Física.

Nos anos seguintes à descoberta da supercondutividade por Onnes, muitos materiais supercondutores foram encontrados, quase todos metálicos. No entanto, todos tinham temperaturas críticas baixíssimas.

Até o início da década de 80, o recorde era o Nb<sub>3</sub>Ge, com  $T_c$  perto de 23 K (-250° C). Para piorar o quadro, a teoria BCS indicava que dificilmente supercondutores com temperaturas críticas acima de aproximadamente 40 K seriam encontrados. Mas, em 1986, dois físicos que trabalhavam no laboratório da IBM em Zurich, Alemanha, mudaram tudo ao descobrir que um material cerâmico, um óxido de cobre com bário e lantâno, ficava supercondutor a 30 K. A notícia se espalhou rapidamente e vários outros compostos foram descobertos por laboratórios de todo o mundo, com temperaturas críticas cada vez mais elevadas.

Em janeiro de 1987, Paul Chu, da Universidade de Houston, mostrou que o YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7+δ</sub> era supercondutor com uma incrível temperatura crítica acima de 90 K. A figura 2 ilustra a dependência da resistência com a temperatura deste tipo de supercondutor.

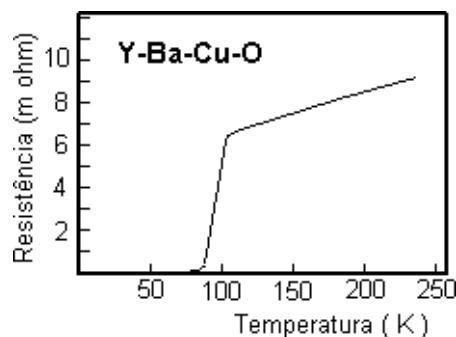


Figura 1 – ilustração da dependência da resistência de um supercondutor cerâmico.

Hoje já são conhecidos supercondutores com temperatura crítica acima de 130 K à pressão ambiente e acima de 200 K à altas pressões. A grande vantagem de um supercondutor ter temperatura de transição acima de 77 K vem do fato de ser esta a temperatura de liquefação do nitrogênio. O nitrogênio é o elemento mais abundante de nossa atmosfera (~80%) e é relativamente barato e fácil de liquefazer. Portanto, quando se fala de supercondutores de alto  $T_c$ , estamos falando em temperaturas críticas ainda muito baixas, da ordem de -150°C. Outra grande beleza desses materiais é que eles são relativamente fáceis de serem sintetizados. Hoje, isso já é até projeto de Feira de Ciência de estudantes de segundo grau. Uma receita pode ser encontrada nos slides da aula.

Até hoje ainda não surgiu nenhuma teoria satisfatória para explicar o mecanismo da supercondutividade nessas cerâmicas e em outras supercondutores conhecidos como supercondutores não-convencionais.

## EXPERIMENTO

Iniciamente, acompanhe o professor até o laboratório do IFGW onde um experimento de susceptibilidade magnética em função da temperatura para uma amostra de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$  será realizado com a ajuda de um monitor.

Enquanto o experimento acima acontece, retorne ao laboratório de vácuo para executar o experimento de transporte elétrico e levitação magnético com outras pastilhas do mesmo material.

Neste experimento utilizaremos uma cerâmica supercondutora de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ , preso a uma moldura metálica e já com os fios conectados, ver figura 2. A pastilha constitui-se de um supercondutor do tipo II (figura 1), cuja temperatura de transição é relativamente alta e assim não é necessário a utilização de hélio líquido para atingir a temperatura crítica, que pode ser alcançada com nitrogênio líquido.

### Four-Point Probe Systems

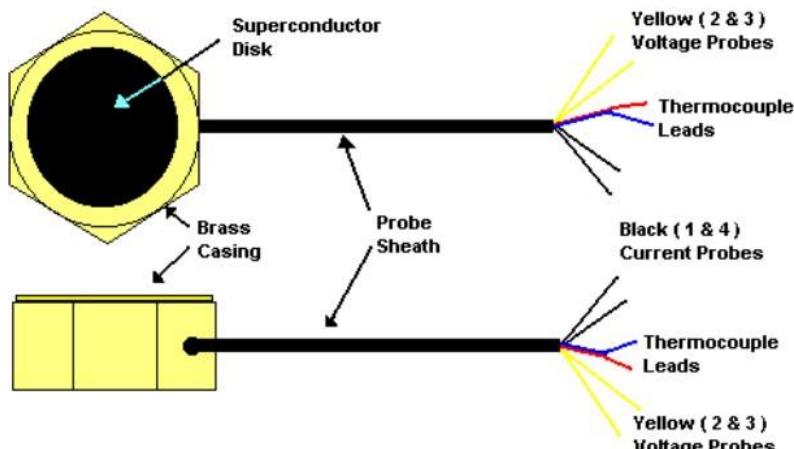


Figure 3: The Superconducting Four-Point Probe

Figura 2 – arranjo de ligações dos terminais elétricos e do termopar na pastilha da cerâmica supercondutora.

Para a medida da resistência da cerâmica, utilizamos o método de quatro pontas que minimiza a contribuição das resistências dos contatos elétricos nas medidas. A figura 2 mostra os terminais relativos a esta configuração.

Para a realização da medida, coloque a cerâmica em um recipiente e introduza nitrogênio líquido. Sabendo-se a corrente e a tensão nos terminais adequados da pastilha, obtemos sua resistência em função da temperatura, usando o sistema de coleta de dados online quantumletivation.xyz. Controlando a entrada de nitrogênio, deve-se mapear a resistência da amostra em função da temperatura que a mesma está submetida, que é medida com um termopar. Faz-se isto até que a resistência da amostra fique em torno de zero. Faça as medidas na faixa de temperatura de 77-300 K. Obs.: procure variar a temperatura lentamente para obter resultados melhores.

Além das medidas de resistência em função da temperatura, observe o efeito Meissner utilizando um pequeno ímã flutuando sobre a cerâmica. Faça uma medida da força associada à levitação do ímã utilizando uma balança e o sistema de coleta de dados quantumletivation.xyz. Comece com o imã quente sobre a balança. Com a medida em andamento, retire a pastilha da balança e

coloque-a em um recipiente com nitrogênio. Posteriormente, coloque a pastinha refrigerada sobre o imã na balança e observe a levitação. Tire fotos e filme e meça o módulo da força associada a levada do íma.

## RELATÓRIO (seguir o modelo da página 5)

### Resumo

**I – Introdução** – Destaque os objetivos e a motivação para o estudo do experimento

**II – Descrição do procedimento** – descreva detalhadamente como o experimento foi realizado.

**III - Resultados** – apresente as curvas de resistência elétrica e susceptibilidade magnética em função da temperatura para o  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ .

Apresente uma curva da altura do imã em função da temperatura e relacione o resultado com a transição supercondutora.

Usando a curva de susceptibilidade magnética em função da temperatura do tipo Field-Cooling (FC), calcule o volume supercondutor.

Para isso considere que:

Volume Supercondutor ( $V_s$ ) em % é dado por:

$$V_s = 4\pi d \frac{M_{FC}}{Hm(0,6)} \times 100$$

onde  $d \sim 6,3 \text{ g/cm}^3$  é a densidade do  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+\delta}$ ,  $M_{FC}$  é o momento magnético em *emu* para  $T \sim 1.8 \text{ K}$  na curva FC,  $H$  é o campo magnético aplicado na medida em Oe e  $m$  é a massa do material medida em gramas.

### IV - Discussões dos resultados:

- a) Faça uma descrição sucinta sobre a supercondutividade e o modelo BCS (Bardeen, Cooper e Schrieffer).
- b) descreva o efeito Meissner e sua relação com a levitação
- c) Explique qual é a diferença entre um Supercondutor Tipo I e Tipo II.
- d) Compare as  $T_c$  para o composto estudado nas duas medidas. E discuta o valor obtido para o volume supercondutor da sua amostra.

### V – Conclusões

### VI - Referências