

RELATÓRIO FINAL (INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO)

MEDIDA DA TRANSIÇÃO NA CONDUTIVIDADE DE UM SUPERCONDUTOR

Professor Orientador: Francisco das Chagas Marques

Aluno: Gustavo Alexandre Viana (RA: 981289)

Campinas 27 de junho de 2002, IFGW-UNICAMP.

INTRODUÇÃO

No projeto desenvolvido foi proposto um sistema no qual a curva característica de uma amostra supercondutora de tipo II, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_8$, é obtida. Este experimento também é proposto como um experimento para o curso de vácuo e criogenia, F-640, uma vez que o mesmo foi desenvolvido no próprio laboratório (LF-24) onde são ministradas as aulas, utilizando equipamentos que na maioria por lá já se encontravam à disposição. A amostra supercondutora foi conseguida junto ao laboratório de materiais e dispositivos (LMD I) do grupo de pesquisa da física aplicada. Por fim, propomos um outro experimento utilizando o mesmo equipamento desenvolvido para o projeto principal, baseado no estudo da curva da temperatura de ebulição de nitrogênio em função da pressão.

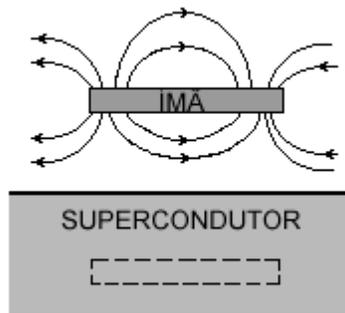
A SUPERCONDUTIVIDADE

Um supercondutor caracteriza-se por dois efeitos:

- a) O material não apresenta nenhuma resistência elétrica ($R = 0$).
- b) O campo magnético dentro do material é zero ($\mathbf{B} = 0$).

A segunda condição é o chamado Efeito Meissner, descoberto em 1933 por W. Meissner e R. Ochsenfeld. Supercondutores que apresentam um completo efeito Meissner são ditos do tipo I. Esses supercondutores são, não apenas condutores perfeitos, mas também, diamagnéticos perfeitos. Essa propriedade é muito importante e serve para caracterizar o supercondutor, além de dar uma pista para as tentativas teóricas de explicar o fenômeno.

A demonstração clássica do efeito Meissner consiste em fazer um ímã permanente flutuar sobre a superfície de um supercondutor. As linhas do campo magnético são impedidas de penetrarem no supercondutor e tomam uma forma semelhante a que teriam se houvesse outro ímã idêntico dentro do material supercondutor (ímã "imagem"). Dessa forma, o ímã sofre uma repulsão que compensa seu peso e "levita" sobre o supercondutor.



Hoje se sabe que existem dois tipos de supercondutor. Nos **supercondutores do tipo I**, o efeito Meissner é total, enquanto nos **supercondutores do tipo II** há uma pequena penetração das linhas de campo magnético para dentro do material. Esses últimos costumam suportar correntes mais fortes que os primeiros, sem perder a condição de supercondutor. Logo, são mais promissores para possíveis aplicações. Além disso, os supercondutores de altas temperaturas, parecem ser do Tipo II.

OS PARES DE COOPER

O fenômeno da supercondutividade começou realmente a ser entendido em 1956, quando Leon Cooper teve a idéia de que os elétrons que transportam a "supercorrente" se associam em pares enquanto se deslocam pelo material. Um elétron normal que se desloca pela rede cristalina de um condutor vai se chocando com os átomos da rede, perdendo energia e aquecendo o material. Isso é chamado de "efeito Joule" e ocorre em todo condutor normal.

Cooper mostrou que dois elétrons podem se associar formando o que hoje se chama um "par de Cooper". Logo se desconfiou que esses pares de Cooper poderiam ser os responsáveis pela corrente supercondutora em materiais a baixas temperaturas. Normalmente, dois elétrons, ambos com carga negativa, não podem chegar perto um do outro por causa da forte repulsão coulombiana. No entanto, Cooper sugeriu que, dentro de um sólido metálico, dois elétrons poderiam vencer essa repulsão mútua com a ajuda de uma excitação da rede cristalina do material, comumente chamada de "fônon". Portanto, para entender como são os pares de Cooper, vejamos primeiro como é um fônon.

Um fônon é uma excitação mecânica que se propaga pela rede cristalina de um sólido. Normalmente, essa excitação, que se desloca como uma onda pelo material, é causada pela agitação natural existente em todo sistema sujeito a uma temperatura finita. Ela consiste de pequenos deslocamentos dos átomos da rede. É claro que, quanto maior a temperatura maior o número de fônons, e esses fônons se propagam em todas as direções dentro do material.

Os átomos da rede cristalina de um metal não são eletricamente neutros. Normalmente, eles perderam elétrons e se tornaram positivamente carregados. São os elétrons perdidos que transportam corrente elétrica pelo sólido. Um elétron que se desloca através do material vai perturbando os átomos da rede, atraindo-os por força coulombiana. Essa perturbação é um

fônon que sai, de algum modo, na rasteira do elétron, como uma turbulência que segue um carro.

O fônon gerado pela passagem de um elétron, sendo uma onda de átomos positivos deslocados, pode capturar outro elétron que esteja por perto. Isso forma o par de Cooper: dois elétrons ligados através de um fônon da rede. O fônon formado de cargas positivas deslocadas permite que os elétrons, que normalmente se repelem, viajem em conjunto pelo sólido. Em temperatura alta, a agitação térmica é tão forte que um par de Cooper não consegue se manter vivo e logo se quebra. Em baixas temperaturas, no entanto, as chances melhoram.

Resta saber porque um par de Cooper consegue se deslocar sem impedimento através de um material que está no estado supercondutor.

A TEORIA BCS

Só após 46 anos da descoberta de Onnes é que surgiu uma explicação bem sucedida do fenômeno da supercondutividade. Em 1957, os físicos John Bardeen, Leon Cooper (o mesmo dos pares) 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.



Figura 1: J. Bardeen, L. Cooper e R. Schrieffer

A idéia central dessa teoria é a formação de pares de elétrons, os pares de Cooper. Como vimos, a associação de elétrons, apesar da repulsão elétrica entre eles, é possibilitada por vibrações da rede, os "fônons". Mas, resta explicar porque os pares de Cooper conseguem se deslocar sem impedimento pela rede cristalina, enquanto os elétrons individuais sofrem resistência.

A teoria BCS, analisando detalhadamente o acoplamento entre elétrons e fônons, mostra que os elétrons dos pares de Cooper têm energia ligeiramente inferior à energia dos elétrons individuais. Em termos técnicos, diz-se que existe um "gap" de energia separando os elétrons emparelhados dos elétrons normais.

Quando um elétron, em um condutor normal, interage com os átomos da rede, dá-se uma troca de energia, como costuma acontecer em toda interação. Na interação, o elétron pode

transferir energia para os átomos, como uma bola de sinuca se chocando com outra, e, no processo, os átomos são "excitados". Isto é, a energia da interação gera uma vibração nos átomos da rede. Foi o que vimos em uma das animações da seção anterior. Isso provoca o aquecimento do material. No entanto, se dois elétrons já estiverem ligados em um par de Cooper, essa interação com outros átomos da rede só será possível se a energia trocada for igual ou maior que a energia do "gap". Quando a temperatura é alta, há muita disponibilidade de energia térmica para isso, e os pares de Cooper nem conseguem se formar, ou, quando se formam, são logo aniquilados. No entanto, baixando-se a temperatura, pode-se chegar a um valor no qual a energia disponível para trocas térmicas é menor que a energia do "gap". Quando isso acontece, alguns pares de Cooper não são aniquilados pela agitação térmica. Mesmo que os elétrons de um par se choquem com átomos da rede, não haverá troca de energia entre eles. Em processos quânticos, como são esses choques, só pode haver troca de energia se o "gap" for vencido. Não pode haver troca parcial de energia. O choque, se houver, será "elástico", sem perda de energia pelos elétrons.

A temperatura na qual o material fica supercondutor, chamada de **temperatura crítica**, T_C , é uma medida do tamanho do "gap" de energia. Em um supercondutor típico, como aqueles conhecidos até a década de 80, a energia do "gap" é bem pequena, da ordem de 0,01 elétron-volts. Por isso, as temperaturas críticas desses supercondutores são tão baixas.

O grande sucesso da teoria BCS deveu-se ao excelente ajuste entre suas previsões e as observações experimentais.

- 1) A existência dos pares de Cooper depende de uma interação entre os elétrons e os átomos da rede, como vimos. Para testar essa hipótese, foram feitas medidas da temperatura crítica em materiais onde alguns átomos eram trocados por seus isótopos mais leves ou pesados. Se, realmente, os fônons estiverem envolvidos na formação dos pares, essa troca deve afetar a temperatura crítica de transição ao estado supercondutor.

O gráfico abaixo mostra o resultado obtido com o mercúrio, cuja supercondutividade foi descoberta por Onnes. O mercúrio tem vários isótopos, com pesos entre 203 e 198. Como vemos, a temperatura crítica aumenta para isótopos mais pesados, confirmando a teoria que prevê uma dependência com o inverso da raiz da massa atômica.

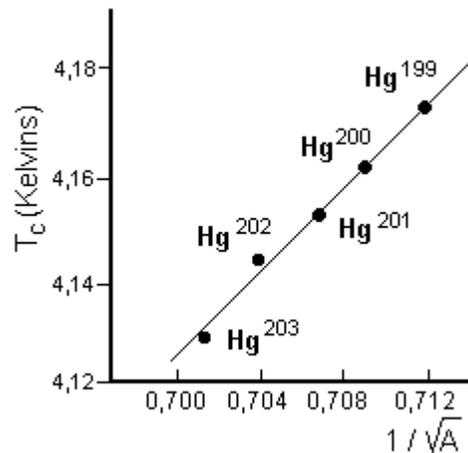


Figura 2: Variação da temperatura crítica com a massa isotópica

- 2) A teoria BCS prevê que o "gap" de energia controla o valor da temperatura crítica. Quanto maior o "gap", maior a temperatura de transição. A previsão da teoria, obtida de uma análise rigorosa da interação elétron-fônon, é que essa relação deve ser:

$$E_{\text{GAP}} = (7/2) k T_C$$

Onde k é a chamada constante de Boltzman

A experiência concorda de forma excelente com essa previsão, como mostra o gráfico ao lado. A linha reta é a previsão teórica (equação acima) e os pontos mostram a energia do "gap" medida para vários supercondutores.

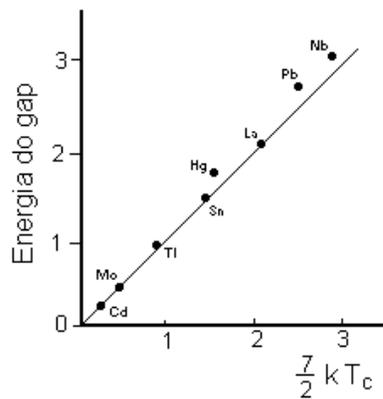


Figura 3: Energia do "gap" vs temperatura crítica

- 3) Segundo a teoria BCS, o calor específico de um supercondutor deve crescer exponencialmente, ao se aproximar da temperatura crítica. Isto é:

$$C = A e^{-b/kT}$$

onde A e b são constantes que dependem do material supercondutor. A figura ao lado mostra o resultado experimental para o Vanádio, cuja temperatura crítica é 5,4 K. Os pontos são as medidas experimentais e a linha contínua é a previsão da teoria. A inclinação dessa reta, por sinal, permite calcular a energia do "gap", que, para o Vanádio, é de 1,3 meV, concordando bem com as experiências.

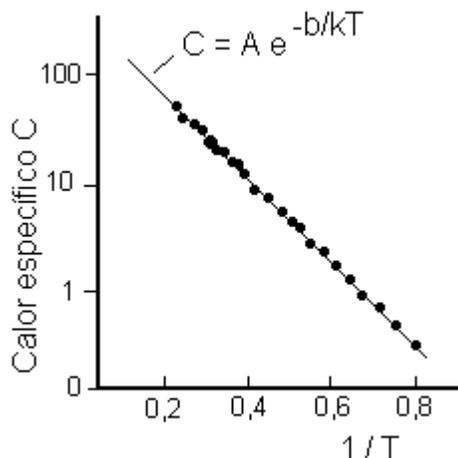


Figura 4: Calor específico do vanádio em função do inverso da temperatura absoluta

Portanto, a teoria BCS teve enorme sucesso, explicando muito bem o comportamento dos materiais supercondutores conhecidos até a década de 80 do século passado. Mas, em 1986, um novo tipo de supercondutor surgiu na praça e a história se modificou.

SUPERCONDUTORES A ALTAS TEMPERATURAS

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_3Ge , 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 25 K seriam encontrados, pelas razões que descrevemos na seção anterior (energia do "gap"). 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 lantânio, ficava supercondutor a 30K.

Em Abril de 1986, Georg Bednorz e Alex Mueller submeteram um artigo ao *Zeitschrift für Physik* intitulado "Possível supercondutividade de alto T_C no sistema Ba-La-Cu-O". Nesse artigo de título modesto eles descrevem como sintetizaram uma cerâmica com fórmula $Ba_x La_{5-x} Cu_5 O_{5(3-y)}$. Esse material é uma cerâmica do tipo *perovskita*, com uma estrutura de camadas. As perovskitas, na forma de silicatos, são os materiais mais abundantes da crosta terrestre, a velha areia. Os sub-índices da fórmula mostram que eles partiram de um composto normal, um óxido de cobre com bário e lantânio, e foram retirando oxigênio em

várias proporções. Quando $x=0,75$, o material apresentava uma fase cuja resistividade caía a zero perto de 30K. Como, até aquele momento, eles ainda não tinham verificado o efeito Meissner nesse material, acharam melhor dar um título prudente ao artigo.



Figura 5: Alex Mueller e Georg Bednorz

Mas, já em Outubro eles observaram o efeito Meissner confirmando que a cerâmica era mesmo um supercondutor. A notícia se espalhou rapidamente e, antes do fim do ano, vários outros compostos dessa mesma família foram descobertos por laboratórios de todo o mundo, com temperaturas críticas cada vez mais elevadas. Até que, em Janeiro de 1987, Paul Chu, da Universidade de Houston, mostrou que o $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ era supercondutor com uma incrível temperatura crítica acima de 90 K.

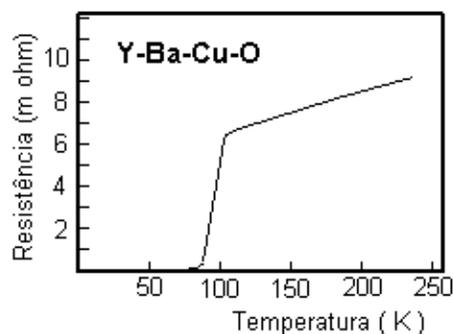


Figura 6: Transição para o estado supercondutor

Hoje já são conhecidos supercondutores com temperatura crítica acima de 130 K. 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 . A maioria dos supercondutores de alto T_C (SCAT, para abreviar) consiste de cerâmicas com estrutura de perovskita modificada. O curioso é que esses materiais são maus condutores de eletricidade na temperatura ambiente. São formados de camadas e, como já se sabe, os portadores de carga se deslocam nos planos que contêm os átomos de cobre e oxigênio, assinalados por setas na figura ao lado. Portanto, o transporte de carga é praticamente bi-dimensional.

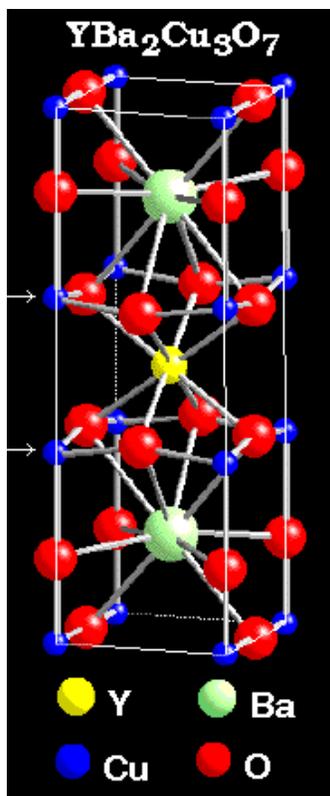


Figura 7: Estrutura do YBa₂Cu₃O₇

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 (em inglês) pode ser encontrada na Internet em <http://imr.chem.binghamton.edu>.

A importância dos supercondutores em geral e dos SCAT em particular, ficou evidenciada pela rapidez com que resultou em prêmio Nobel para seus descobridores. Onnes descobriu a supercondutividade em 1911 e já recebeu seu Nobel em 1913. Bednorz e Mueller descobriram o primeiro SCAT em 1986 e receberam o Nobel no ano seguinte, em 1987. Foi o Nobel mais rápido da história do prêmio.

Ao que parece, até agora ainda não surgiu nenhuma teoria satisfatória para explicar o mecanismo da supercondutividade nessas cerâmicas. Desde o início ficou mais ou menos claro que a teoria BCS não funciona a contento para esses supercondutores. Lembre que a essas temperaturas a agitação térmica supera o "gap". Por outro lado, parece que existem pares de Cooper nos SCAT. Só que ninguém sabe ao certo se o mecanismo de formação desses pares é o mesmo que nos supercondutores tradicionais. Provavelmente não é, pois há evidências de atuação dos spins no acoplamento de elétrons. Como disse Sir Nevil Mott, decano da Física do Estado Sólido, o número de teorias "explicando" a supercondutividade das cerâmicas é igual ao número de teóricos.

E o futuro? É certo que o Santo Graal da supercondutividade é achar um material supercondutor a temperatura ambiente. Um material desses não vai acabar com a fome do mundo mas já pode dar uma boa ajuda. Como o sucesso das cerâmicas estancou um pouco, sendo que a maior temperatura crítica até agora ficou em torno de 130 K, o pessoal vem tentando outros caminhos. Entre eles: supercondutores orgânicos, fulerenos, rutenatos, além de um novo interesse nos velhos metais. Há pouco foi descoberto que o MgB_2 , composto aparente inócuo que estava esquecido nas prateleiras dos químicos, fica supercondutor a 40 K. Como é um material mais fácil de manusear que as cerâmicas renovou-se a esperança de achar metais ou similares com altas temperaturas críticas.

A confecção da amostra

A amostra supercondutora obtida junta ao grupo de materiais e dispositivos (LMD I) foi feita da seguinte forma:

1º) Sobre a confecção da pastilha supercondutora:

0,49853 g de pó de material misturado com álcool e secado a uma temperatura de $\pm 100^\circ\text{C}$. Após isto, o material foi submetido a seu primeiro tratamento térmico a uma temperatura de 870°C por 150 horas. A amostra final ainda foi submetida a um segundo tratamento térmico que consistiu em oito aplicações a uma temperatura de 850°C de 24 horas cada.

A amostra final consta com as seguintes dimensões: 10,2mm, 1,0mm e 0,9mm. A limpeza final da amostra foi feita com “cotonete” e acetona.

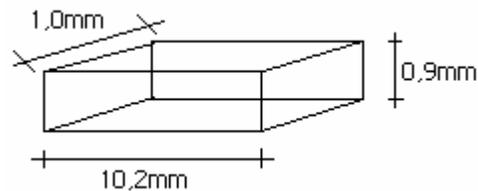


Figura 8: Dimensões da pastilha supercondutora

2º) Sobre os contatos eletrônicos:

Vestindo a pastilha com uma máscara protetora, os contatos da amostra foram feitos através de um processo de Sputtering de prata a 200°C . O processo de sputtering é utilizado por difundir por mais planos atômicos a prata. A estes contatos foram conectados fios de ouro. A conexão foi feita através de epoxy (cimento mais tinta prata), este processo é chamado de “cura”, e é feito a 200°C por 5 minutos.

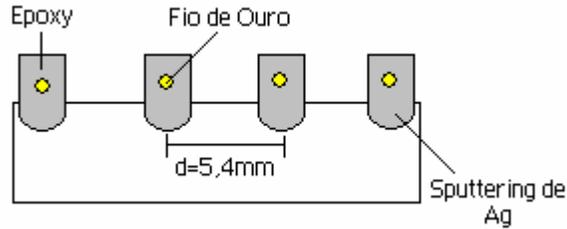


Figura 9: Os contatos na pastilha supercondutora

Como a pastilha será aprisionada dentro do criostato, e ainda lembrando que estamos trabalhando com o método de quatro pontas, é necessário que saibamos com qual conexão estamos lidando, deste modo, o criostato possui indicações em suas conexões, que devem fazer referência às conexões da amostra supercondutora. Assim fizemos então as seguintes discriminações para com as indicações das conexões.

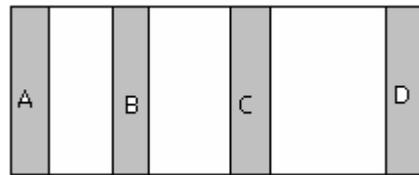


Figura 10: Indicações dos contatos na amostra

Ao final do preparo da amostra foi tomada uma curva característica para a mesma, no entanto, usando não o sistema disponível no laboratório de vácuo e criogenia (LF-24), e sim um sistema mais preciso e profissional localizado no laboratório de materiais e dispositivos (LMD I). A curva obtida está abaixo.

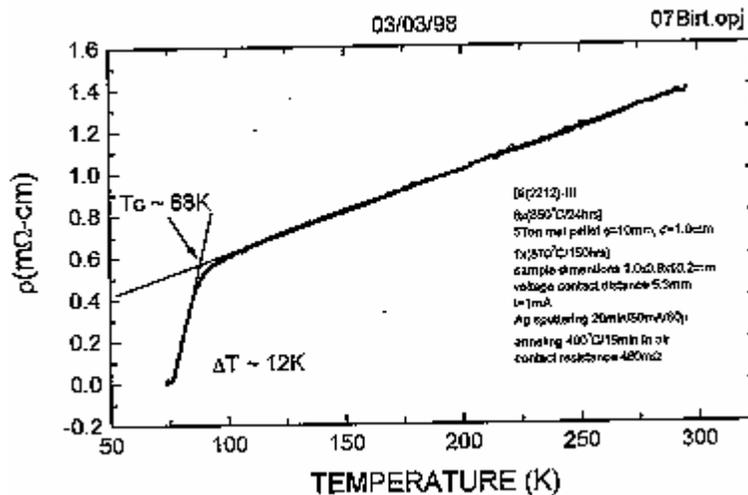


Figura 11: Gráfico da resistividade v.s. temperatura obtido no LMD I.

O sistema de quatro pontas

Quando estamos fazendo algumas medidas, principalmente no caso de resistência de materiais, precisamos saber qual a contribuição resistiva dos fios e contatos, para se descontar da medida em que realmente se está interessado em tomar. No caso de medidas em supercondutores, estes cuidados tornam-se ainda mais necessários quando nos atentamos ao fato de que o queremos é medir a ausência de resistência. É dentro deste quadro que entra o sistema de quatro pontas de medida.

Se usássemos um sistema simples de duas pontas para a medida da tensão na amostra, teríamos o seguinte caso. Ao entrar com a corrente na amostra, esta deveria obrigatoriamente passar pelos contatos, e pelo que já sabemos pela lei de Ohm, iríamos sempre medir uma tensão entre os contatos. No entanto, com o auxílio de um sistema de quatro pontas, conseguimos contornar este problema, e o que realmente medimos é a tensão na amostra e não mais nos contatos. As figuras abaixo ajudam a elucidar.

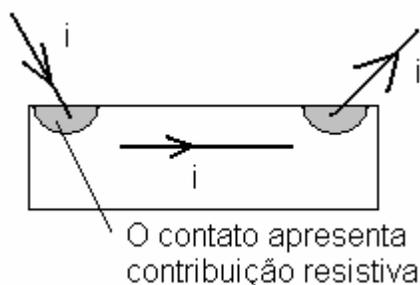


Figura 12: Amostra com sistema de duas pontas

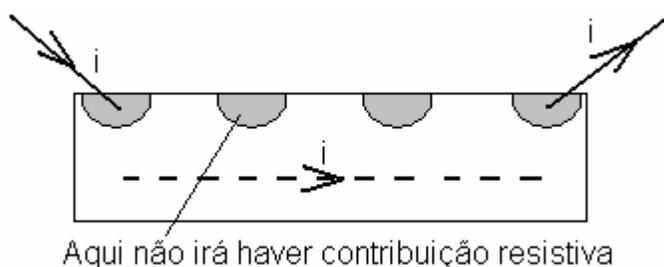


Figura 13: Amostra com sistema de quatro pontas

Das tomadas das medidas

Antes de se realizar qualquer tomada de medida, é necessário que se faça vácuo no sistema. Para isto, liga-se inicialmente a bomba mecânica junto à bomba de apoio, para que seja feito o pré-vácuo da ordem de 10^{-1} ou 10^{-2} Torr. Isto feito, já tem vácuo suficiente na “boca” da bomba difusora para colocá-la em uso, e obtermos assim um alto-vácuo.

O passo seguinte é inserir nitrogênio líquido na armadilha (“trap”). Isto deve ser feito, para auxiliar o processo de evacuação e também para proteger o sistema contra um possível fluxo de óleo da bomba difusora, o que causaria uma diminuição na qualidade do vácuo que o sistema é capaz de atingir. Posto o nitrogênio, é possível abrir a válvula de alto vácuo

para o restante do sistema (criostato). O vácuo máximo que o sistema consegue atingir está na ordem de 10^{-5} Torr.

A pastilha supercondutora já está fixa dentro do criostato, que neste ponto deve estar a temperatura ambiente. Isto pode ser verificado com o auxílio de um termopar.

Além do termopar, o criostato possui mais oito cabos conectores discriminados através de letras, as quais mantêm a mesma discriminação da pastilha, como ilustrado na figura 10. Os cabos A e D estão associados aos contatos na pastilha em que se deve entrar com a corrente. Para esta conexão existe uma pequena fonte de *9 volts* (bateria comercial) ligada em série com um resistor de *10 K Ω* , para fornecer um corrente de *0,9 mA*.

Os cabos C e B estão associados às conexões reservadas para a leitura da tensão na amostra. Sabendo a corrente e a tensão na pastilha, obtemos sua resistência e em posse de suas dimensões calculamos sua resistividade.

Como a pastilha constitui-se de um supercondutor com uma temperatura de transição acima do valor da temperatura do nitrogênio líquido, não se faz necessário à utilização de hélio líquido para atingir a temperatura de transição; Esta pode ser alcançada com nitrogênio líquido que com ajuda de um funil é colocado dentro do criostato, no recipiente antes destinado ao hélio. Como pode ser visto no esquema do criostato em anexo, existe uma válvula que põe em contato o nitrogênio no mesmo ambiente da pastilha. Assim se começa baixar a temperatura. Também é possível se controlar a pressão que está submetida à amostra através de uma bomba mecânica associada ao sistema. Com este sistema é possível baixar ainda mais a temperatura do ambiente da pastilha, pois estamos também submetendo o nitrogênio a pressões menores.

Controlando então a entrada de nitrogênio e a pressão no ambiente da pastilha, deve-se tomar a tensão na amostra relacionada à temperatura que a mesma está submetida. Faz-se isto até que a tensão na amostra seja zerada. No caso de nosso equipamento a tensão em que a amostra é supercondutora irá oscilar em torno do zero. (esta é a imprecisão do aparelho).

Equipamentos utilizados:

- Bombas mecânica e difusora.
- Criostato.
- Nitrogênio líquido.
- Multímetros digitais.
- Amostra Supercondutora $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_8$, resumidamente Bi(2212).
- Cabos conectores.
- Fonte *9 volts*.
- Termopar Ouro-Cromo.

Da forma descrita acima tomamos os pontos necessários para obtermos o gráfico abaixo.

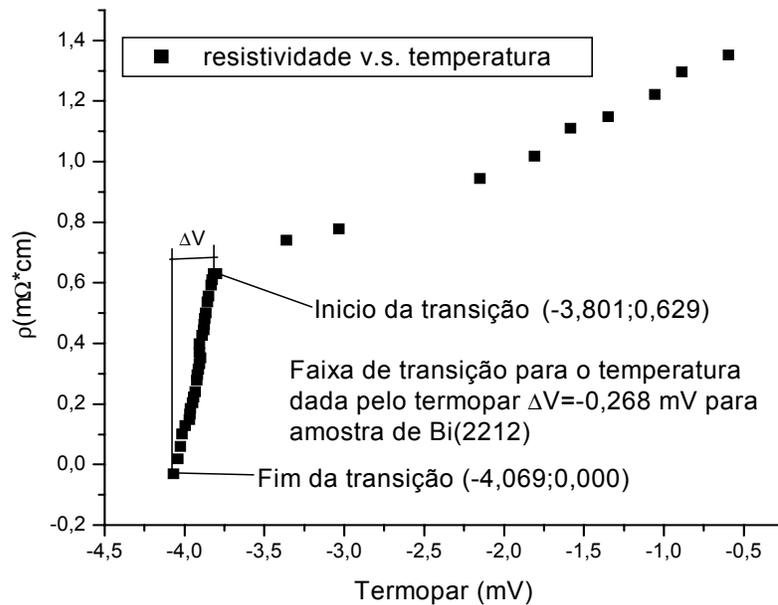


Figura 14: Curva característica para o Bi(2212).

Algumas observações

O objetivo chefe deste projeto era com alguns equipamentos que já existiam no laboratório de ensino de vácuo e criogenia (LF-24) mais algumas adaptações, implantar um sistema que fosse capaz de realizar a transição condutor-supercondutor para uma amostra supercondutora. No entanto, durante a realização do projeto viu-se que o mesmo sistema pode ser usado para implantação de outros novos experimentos para o mesmo laboratório.

Até o devido momento, o equipamento onde agora se trabalha com supercondução, era utilizado somente para obter a taxa de evaporação do nitrogênio e para a observação da transição fluido-superfluido para o hélio líquido, mas além de disso, colocando nitrogênio no recipiente destinado ao hélio e variando a pressão sobre o mesmo podemos implementar um outro novo experimento que consiste em medir a temperatura de evaporação do nitrogênio em função da pressão e assim obtermos um dos ramos do diagrama de fase para o nitrogênio.

A temperatura do nitrogênio continua sendo medida com o auxílio de um termopar e a pressão sobre o mesmo pode ser medida com o auxílio de um tubo em “U” com mercúrio que já se encontra instalado junto ao sistema. Isto só vem a incrementar ainda mais o “rol” de experimentos para o referido laboratório.

Agradecimentos

Em especial ao professor *Francisco Marques* pela dedicação, prestatividade e muita paciência.

A *Juan Carlos P. Campoy*, pela ajuda com a preparação da amostra supercondutora e os esclarecimentos conquanto às nuances do fenômeno.

Ao técnico *Carlos Salles Lambert* pelo preparo e reparo necessários para o funcionamento do sistema.

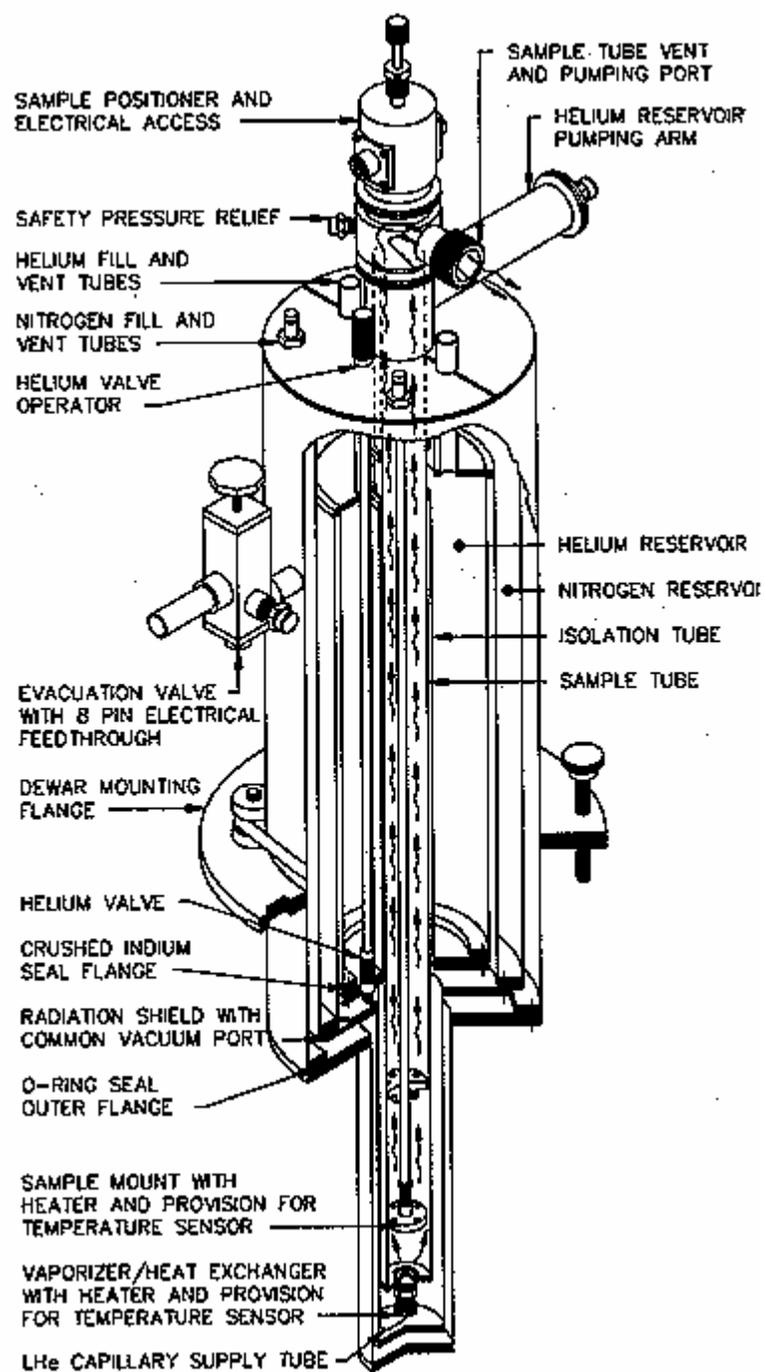
Ao amigo *Paulo Freitas Gomes* (GPO) pela peça necessária para a conexão dos cabos ao criostato.

E ainda ao amigo *Rangel Pio Campos*, *Claudinei* da eletrônica, ao aluno bolsista *Fernando* e “*Seu Pedro do LEI*”.

A todos muito Obrigado.

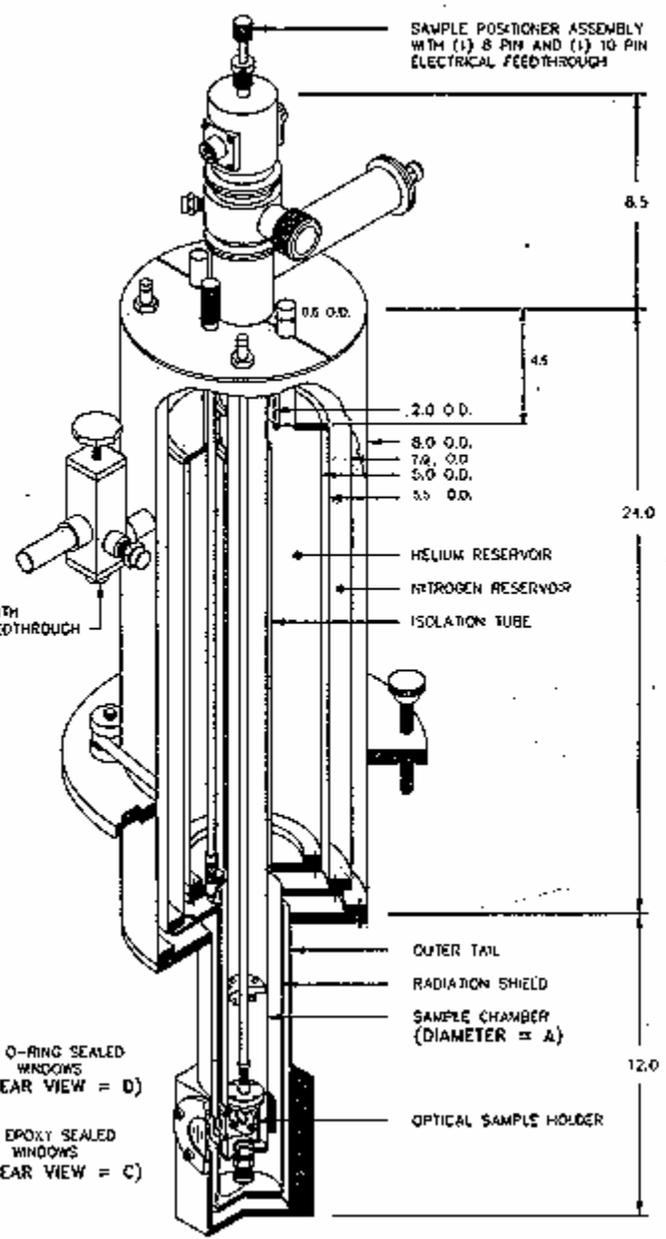
Anexos

Figura esquemática para o criostato.



Dimensões para o criostato.

NOTES:
 1. ALL DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE PURPOSES
 2. UNITS = INCHES



1	0.75	2.75	0.5	0.75
2	1.0	3.0	0.62	1.0
3	1.5	3.25	0.75	1.25

