

Experimento 9

SUPERFLUIDEZ DO HÉLIO

Introdução

Um dos problemas experimentais importantes em criogenia é a medida de temperaturas. No intervalo 300 a 4,2 K, vários termômetros são utilizados, como, por exemplo, resistores de vidro de carbono (carbon-glass), resistores de platina (usualmente para temperaturas acima de 30 K), termopares de cromel-alumel (tipo K, para temperaturas acima de 77 K), termopares (Fe- Au)-cromel (para todo o intervalo citado) e diodos de AsGa, entre outros. Em geral, a sensibilidade de todos esses termômetros diminui drasticamente à medida que nos aproximamos da temperatura do Hélio líquido (LHe). Se quisermos trabalhar abaixo de 4,2 K, como freqüentemente acontece, precisamos lançar mão de termômetros apropriados, que apresentem alta variação de suas propriedades termométricas com pequenas variações de temperatura, em temperaturas tão baixas. Um termômetro que satisfaz essa exigência é o de resistor de filme de carbono, que pode apresentar alta sensibilidade, dependendo de seu processo de fabricação.

Normalmente, obtemos temperaturas abaixo da ambiente e até 4,2 K utilizando LN2 e LHe em um criostato ou dewar, e um variador de temperatura, normalmente um suporte de amostra com um aquecedor e um termômetro, acoplados a um controlador de temperatura. Por exemplo, em nosso laboratório usamos um criostato óptico chamado Varitemp, exatamente porque permite a variação controlada da temperatura da amostra. Quando queremos temperaturas abaixo de 4,2 K, a maneira mais fácil é usar a propriedade de que a temperatura de ebulição de um líquido depende da pressão a que ele está submetido. Em geral, abaixando-se a pressão abaixamos também a temperatura de ebulição. Isso pode ser usado no caso do LHe. A dependência da temperatura de ebulição do LHe com a pressão de vapor foi determinada experimentalmente e é dada na tabela I em anexo.

Como sabemos, quando abaixamos a temperatura do LHe, ele sofre uma transição de fase a 2,17 K e 37,80 mmHg para uma fase superfluida, em que a condutividade térmica do fluido é muito alta e sua viscosidade é zero. Nessas condições, o LHe, que normalmente mostra muitas bolhas, deixa de fazê-lo, pois todo o calor é conduzido imediatamente para as paredes do recipiente que contém o LHe, eliminando as bolhas. A evaporação do He superfluido se dá ao longo das paredes do recipiente que o contém, pois ele forma um filme que "escala" essas paredes até encontrar uma região de temperatura alta o suficiente para evaporar. O desaparecimento brusco das bolhas de evaporação permite a observação visual da transição normal-superfluido.

Neste experimento temos como objetivo observar a transição de fase normal-superfluido para o He. Temos como segundo objetivo observar a dependência com a temperatura da reatância elétrica de um filme de Nb que é um supercondutor convencional com $T_c \sim 9$ K Também mediremos a taxa de evaporação do LHe no criostato.

Aparato Experimental

Nosso equipamento de medida (ver experimento anterior) é relativamente complexo e deve ser manipulado com muito cuidado, sempre com a assistência do professor ou do auxiliar. Em particular, nunca faça uma ação se você está inseguro a respeito dos efeitos dela.

Siga sempre a regra: na dúvida, não faça, pergunte. O aparato que vamos usar consiste de um criostatode pesquisa óptico tipo Varitemp, com a câmara de LHe ligada à câmara de amostra através de um capilar controlado por uma válvula agulha. Esse criostato está ligado a um sistema de alto vácuo, para o isolamento térmico das suas diversas câmaras; está ligado também a uma "árvore" de válvulas que o conecta à linha de recuperação de He. No nosso caso, essa árvore está também ligada a uma possante bomba mecânica, de alta vazão, que é usada para bombear o LHe, e a um manômetro em U de mercúrio, que permite medir a pressão de vapor do LHe em relação à pressão atmosférica, que em Campinas pode ser tomada como 715 mmHg. As válvulas estão dispostas de modo que se pode isolar a câmara de amostra do Varitemp da linha de recuperação de He e conectá-la à bomba mecânica, de modo a abaixar a pressão de vapor do LHe. Uma válvula agulha permite a regulagem fina do bombeamento.

Procedimento

a) Superfluidez

Como primeiro objetivo do experimento, observaremos a transição normal-superfluido. Para isso, faremos a transferência de LHe. Em seguida, a câmara de He será pressurizada, fechando-se a válvula que a liga à linha de recuperação de He, e encheremos a câmara de amostra com LHe. Esse He poderá ser observado através da janela óptica. Quando essa câmara estiver cheia, a câmara de He será despressurizada, e a câmara de amostra será bombeada. Os alunos deverão observar a janela óptica, iluminando-a com uma lanterna, para poder enxergar o momento da transição de fase.

b) Taxa de evaporação de hélio líquido

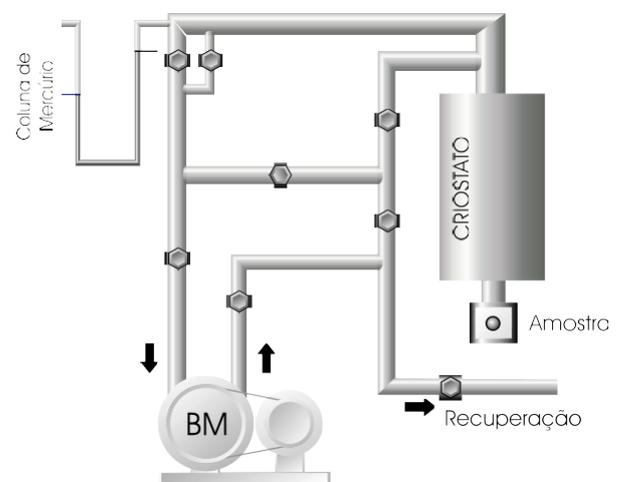


Figura 1: Montagem Experimental.

Neste experimento o grupo deverá medir também a taxa de evaporação de hélio. Após o preenchimento da camisa de nitrogênio e da transferência de hélio, meça o nível do hélio usando o provador, que é um tubo fino de aço inox que termina em uma peça cônica fechada com uma membrana de borracha, e que vibra em consonância com vibrações termo-acústicas típicas de hélio líquido gasoso em temperaturas muito próximo à de ebulição (leia artigo em anexo). Como o gás tem frequência dessas oscilações termo-acústicas diferente da do hélio, esse dispositivo simples permite medir o nível de hélio dentro do criostato. Deve-se então construir uma tabela de altura do líquido em função do tempo. O criostato deve ser medido, de modo que se tenham as suas dimensões importantes. Em seguida, deve-se fazer uma estimativa dos diversos fluxos de calor pelos diferentes mecanismos, e com essa estimativa, deve-se estimar qual é a taxa de evaporação esperada, e comparar com a taxa medida experimentalmente. Veja o experimento sobre o criostato e compare os dois resultados.

b) Medida de supercondutividade do nióbio

Realize medidas da resistência de um filme de nióbio (supercondutor tipo II convencional) em função da temperatura. Um fio de nióbio está colocado dentro do criostato com quatro contatos elétricos para medida de resistência utilizando o método de quatro pontas. Faça as medidas na maior faixa de temperatura possível, pelo menos entre 4 e 100 K. Faça o gráfico da resistência em função da temperatura e determine se é possível determinar a temperatura crítica.

Obtenha também, para o filme de Nb, a razão *RRR* (Residual Resistivity Ratio) dada por:

$$RRR = \frac{R(300\text{ K}) - R(4\text{ K})}{R(4\text{ K})}$$

Literatura: *Cryogenics*, Michael McClintock
Advanced Cryogenics, C. A. Bailey
Cryogenics Fundamentals, G. G. Haselden
Cryogenics – Research and Applications, Marshall Sittig
Artigo: J. Gaffney and J.R. Clement, "Liquid Helium Level-finder", *Review of Scientific Instruments*, 26 (6) 620 (1955)

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. Descreva o dispositivo e o procedimento usado para a medida do nível do Hélio usando o efeito termo-acústico.

III - Resultados – descreva os resultados obtidos.

IV - Discussão

- a) Discuta os resultados obtidos e descreva as características básicas de Hélio superfluido.
- b) Descreva os procedimentos convencionais para se obter temperaturas baixas para várias faixas, desde pequenos valores, como em geladeiras domésticas, até temperaturas da ordem de mK, usando desmagnetização adiabática e refrigerador de diluição (que utiliza variações na entropia).
- c) Faça uma estimativa teórica da taxa de evaporação e compare com as medidas experimentais. Explique as origens das diferenças obtidas. Justifique as aproximações usadas. Utilize as equações constantes da apostilha de criogenia. O criostato deve ser medido de modo que se tenham todas as suas dimensões importantes para este cálculo. Compare o resultado deste experimento com hélio do experimento realizado com nitrogênio.
- d) Apresente a curvas de resistência do nióbio e seu RRR. Bons metais devem ter RRR entre 10-100. Comente. Determine T_c para o Nb caso sua observação seja possível. Explique sua observação considerando as grandezas físicas que podem levar um supercondutor para o seu estado normal.

V – Conclusão

VI - Referências