

EXPERIMENTO 7

CRIOSTATOS

Introdução

Um criostato de pesquisa é um recipiente de forma complexa feito para receber líquidos criogênicos como nitrogênio líquido e hélio líquido. Em criostatos de hélio, o nitrogênio serve para abaixar a temperatura do criostato até 77 K, que é a temperatura de sua ebulição, e ao mesmo tempo formar uma blindagem térmica para o recipiente interno de hélio líquido. O isolamento térmico desses líquidos do ambiente e entre si é feito usando-se um sistema de alto vácuo, que em geral permite alcançar pressões da ordem de 10^{-6} torr, o que minimiza o transporte de calor via gás rarefeito. A transferência de calor por condução nas paredes do criostato é minimizada utilizando-se materiais de baixa condutividade térmica, que no nosso caso específico é aço inox 304. Devido ao exíguo espaço disponível entre paredes, não se usa superisolação entre as paredes, de modo que o mecanismo de transferência de calor por radiação é importante para este tipo de criostato. O objetivo desta experiência é familiarizar o aluno com um criostato de nitrogênio líquido e a realização de medidas da taxa de evaporação do nitrogênio.

Aparato experimental

O aparato que vamos usar (ver figuras anexas) consiste de um criostato de pesquisa óptico tipo Varitemp, com uma câmara de nitrogênio líquido, e outra de hélio líquido (LHe) ligada à câmara de amostra através de um capilar controlado por uma válvula agulha. Para este experimento apenas parte do sistema será utilizada como iniciação. Esse criostato está ligado a um sistema de alto vácuo, para o isolamento térmico das suas diversas câmaras. Apenas para informação, este sistema está ligado também a uma "árvore" de válvulas que o conecta à linha de recuperação de He. Essa árvore está também ligada a uma potente 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. 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. Neste experimento usaremos apenas o sistema de vácuo e a câmara de nitrogênio.

Procedimento

1. Fazer vácuo nas cavidades internas do criostato (ver figura anexa). Para isto proceda da seguinte forma:
 - 1.1 ligue o sistema de vácuo que consiste de uma bomba mecânica e uma difusora. Descubra por si mesmo como operar o sistema de vácuo utilizando o roteiro geral apresentado na apostilha do curso.
 - 1.2 Faça vácuo no criostato

2. Introduzir nitrogênio líquido na câmara apropriada do criostato (a mais externa com abertura para o meio ambiente) enchendo-a completamente. **Coloque o nitrogênio lentamente** para evitar fadiga das soldas do criostato devido ao choque térmico.

3. Medir a taxa de evaporação do nitrogênio por cerca de 2 horas. Para isto utilize uma escala qualquer milimetrada, uma régua por exemplo.

RELATÓRIO (seguir o modelo da página 5)

Resumo

I – Introdução – destaque os objetivos e a motivação para o estudo deste experimento

II – Descrição do procedimento – descreva como o experimento foi realizado com informações de dados utilizados.

III - Resultados

- a) Construir uma tabela e um gráfico do volume evaporado em função do tempo
- b) Utilizando o coeficiente angular da região para longos tempos determine a taxa de evaporação.
- c) Utilizando o dado acima determine a potência que é fornecida para o nitrogênio líquido.
- d) 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.

IV - Discussão

- a) Descreva as características básicas de um criostato.
- b) Descreva quais são as origens dos diversos fluxos de calor.
- c) Explique o comportamento da curva obtida no experimento desde o início até o final do período medido (cerca de 2 horas), indicando quais as fontes de condução de calor e porque a taxa não é constante e as razões para as diferenças encontradas entre o experimento e o cálculo teórico.
- d) Estimar qual seria a pressão residual que daria uma potência de transferência de calor, devido a condutividade térmica do gás, equivalente ao valor obtido experimentalmente.
- e) Apresente o funcionamento do ciclo *Stirling* e do ciclo *Collins* (ver M.D. Atrey, Thermodynamic analysis of Collins helium liquefaction cycle, *Cryogenics* 38 (1998) 1199–1206.

V – Conclusão

Referências

APÊNDICE

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

1) Transferência de calor por RADIAÇÃO entre duas placas paralelas.

A equação (1) fornece a potência, dq/dt (taxa de transferência de calor por unidade de tempo) por radiação entre duas placas paralelas de mesmo material, de área A , nas temperaturas T_1 e T_2 (para $T_2 > T_1$).

$$P_{\text{radiação}} = dq/dt = \sigma A [\epsilon / (2 - \epsilon)] (T_2^4 - T_1^4) \quad (1)$$

onde ϵ é a emissividade do material ($\epsilon_{\text{aço}}=0,048$) e $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ é constante de Stefan-Boltzman.

No caso de duas cascas cilíndricas com pouca diferença entre seus diâmetros, podemos usar esta equação de forma aproximada.

2) Transferência de calor por condução em gases

O mecanismo de transferência de calor em gases depende da pressão. Vamos dividir em duas partes: (a) gases rarefeitos, onde a distância entre as placas é da ordem do livre caminho médio e (b) gases em atmosfera onde a distância entre as placas é muito maior do que o livre caminho médio. No primeiro caso podemos estudar sistemas sob vácuo, enquanto no segundo caso, situações em atmosfera ambiente, por exemplo.

(a) Transferência de calor por condução em gases rarefeitos (vácuo)

Se a pressão do sistema é baixa, a potência de transferência de calor por condução gasosa, dq/dt , na pressão p , entre duas placas paralelas de mesmo material, de área A , nas temperaturas T_1 e T_2 é dada pela expressão (2):

$$P_{\text{condução em gás rarefeito}} = dq/dt = C a_0 p A \Delta T \quad (\text{SI}) \quad (2)$$

onde C é uma constante, a_0 é o coeficiente de acomodação e $\Delta T = T_2 - T_1$ (para $T_2 > T_1$) é a diferença de temperatura entre as placas. A constante C tem os valores 0,028; 0,059 e 0,016 (no SI) respectivamente para o hélio, hidrogênio e ar. O coeficiente de acomodação a_0 depende do gás e do material das placas. Para ar entre placas de aço, $a_0=0,33$ (no SI).

No caso de duas cascas cilíndricas com pouca diferença entre seus diâmetros, podemos usar esta equação (2) como aproximação.

(b) Transferência de calor por condução em gases não rarefeitos

Neste caso a equação é similar à condução em sólidos (ver item 3):

$$P_{\text{condução em atmosfera gasosa}} = k A \Delta T/z \quad (3)$$

onde k é condutividade térmica do gás ($k_{\text{ar}} \sim k_{\text{N}_2}=0,026 \text{ W/m.K}$) e z é a distância entre as placas.

3) Transferência de calor por condução em sólido

O potência de transferência de calor ($P=dq/dt$) através de uma barra retangular de um material sólido de comprimento z e área transversal A , entre as temperaturas T_1 e T_2 é dada por (4):

$$P_{\text{condução em sólido}} = k A \Delta T / z \quad (4)$$

onde k = coeficiente de condutividade térmica do sólido ($k_{\text{aço}} = 0,123 \text{ W/cm.K}$), $\Delta T = T_2 - T_1$ (para $T_2 > T_1$).

Dados de interesse:

Emissividade do aço inoxidável, $\epsilon_{\text{aço}} = 0,05$

Constante de Stefan-Boltzman, $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

Calor latente do nitrogênio = 200 kJ/kg

Calor latente do hélio = 20,6 kJ/kg

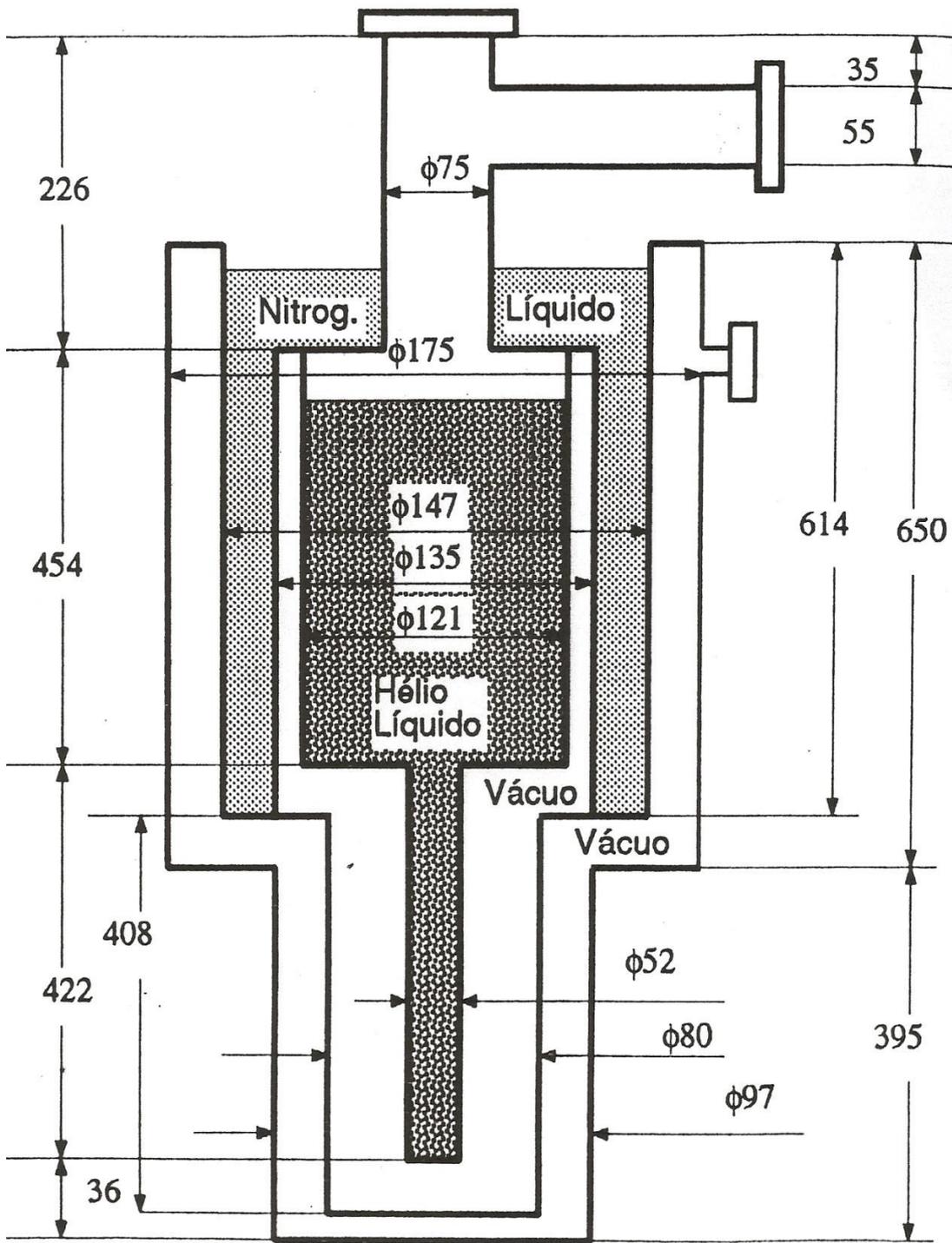
Condutividade térmica do aço, $k_{\text{aço}} = 0,123 \text{ W/cm.K}$

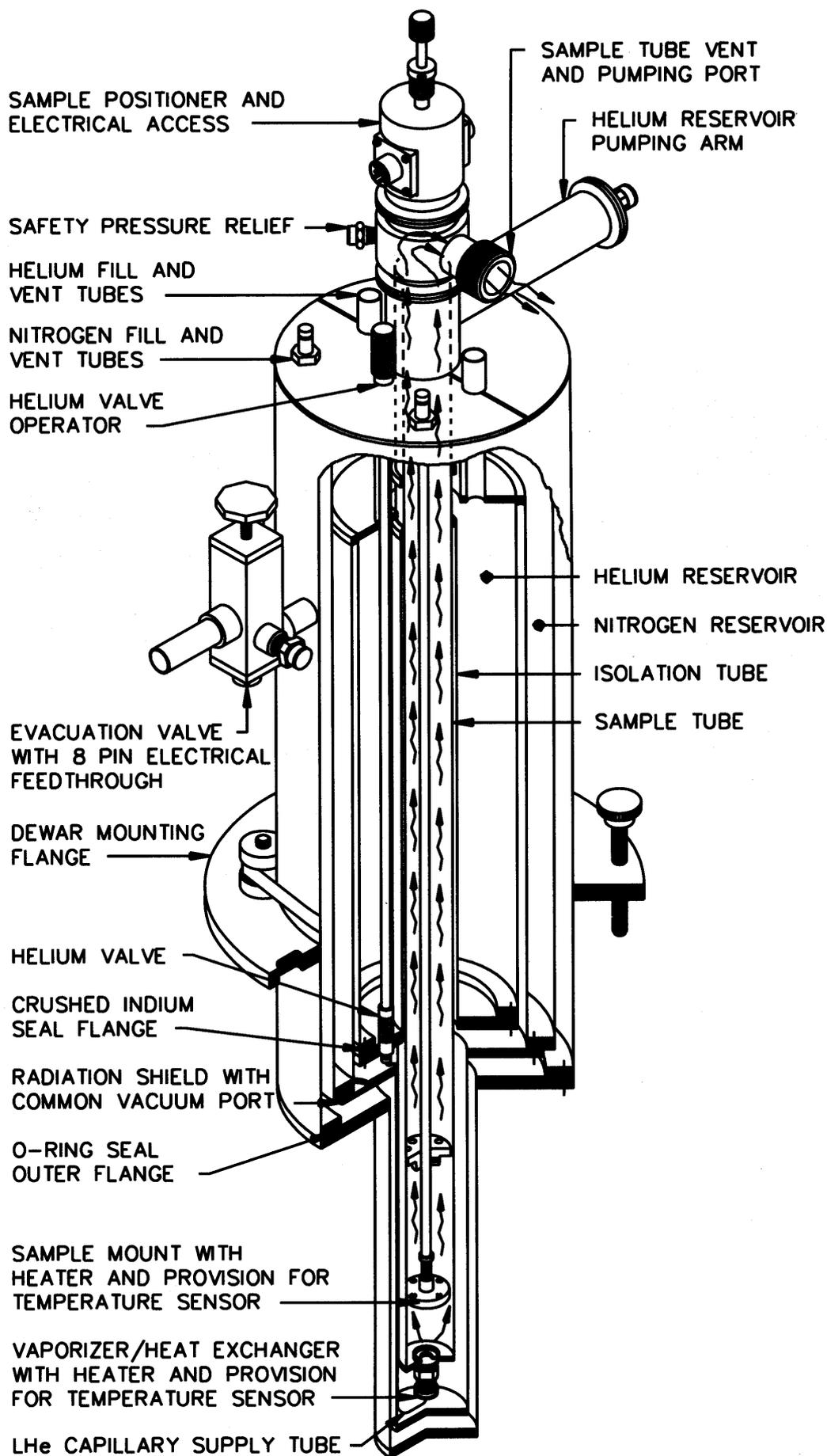
Condutividade térmica, $k_{\text{ar}} = k_{\text{N}_2} = 0,026 \text{ W/m.K}$

Densidade do nitrogênio = 0,81 g/cm³

Densidade do hélio = 0,13 g/cm³

Material do criostato = **aço 304** com **0,8 mm** de espessura.





TYPICAL SUPERVARITEMP SYSTEM

