

# Modelo para Transferência de Calor no Hélio Líquido

**Erasmus Senger**

Depto de Matemática, UNIFAP,  
68902-280, Macapá, AP  
E-mail: erasmosenger@unifap.br

**Abimael Fernando Dourado Loula**

Laboratório Nacional de Computação Científica,  
25651-075, Petrópolis, RJ  
E-mail: aloc@lncc.br

## RESUMO

O elemento hélio, encontrado principalmente em reservas de gás natural, entra em condensação à temperatura de 4.2K, e é a única substância conhecida que permanece no estado líquido até o zero absoluto. Na fase líquida, o hélio apresenta ainda, em 2.17K, outra mudança de fase, onde passa de líquido comum à superfluido, com viscosidade praticamente nula. Estas propriedades conferem ao hélio importantes aplicações, principalmente como agente refrigerante em supercondutores, como por exemplo, no acelerador de partículas LHC, que está sendo construído na fronteira da França com a Suíça, em aparelhos de ressonância magnética, satélites artificiais, etc.

Com base nas leis constitutivas de Fourier e de Gorter-Mellink, neste trabalho é desenvolvido um modelo matemático para a transferência de calor no hélio líquido, resultando em um problema de Stefan de duas fases, sendo que em uma das fases, o fluxo de calor é governado pela equação não-linear conhecida como p-laplaciano, com  $p=4/3$ .

A solução numérica das equações diferenciais resultantes do modelo são resolvidas usando o método de elementos finitos com um algoritmo de ponto fixo, onde é feito um estudo de convergência, mostrando taxas de convergência ótimas ou quase ótimas, comparáveis às das interpolantes quando são usadas malhas adaptativas. Usando dados experimentais, encontrados na literatura, para os parâmetros de condutividade térmica, densidade e calor específico, dependentes da temperatura, são apresentados testes de validação do modelo, onde compara-se a solução numérica do modelo matemático com resultados experimentais para a temperatura, encontrados na literatura. São também

apresentados exemplos de aplicações do hélio líquido como agente refrigerante.

## Referências

- [1] K. Bennemann, J. Ketterson, "The Physics of Liquid and Solid Helium". John Wiley & Sons, New York, 1975.
- [2] J.C. Lottin, S.W.V. Sciver, Heat Transport Mechanisms in a 2.3 m Long Cooling Loop. *Proceedings of 9th International Cryogenic Engineering Conference*, 269, (1983).
- [3] A.F.D. Loula and N.C. Guerreiro, Finite Element Analysis of Nonlinear Creeping Flows, *Computer Methods In Applied Mechanics And Engineering*, 79, 87-109, (1990).
- [4] S.W.V. Sciver, Heat Transport in Forced Flow He II: Analytic Solution, *Advances in Cryogenic Engineering*, 29, 315-322, (1985).
- [5] E. Senger, A.F.D. Loula, M.A. Raupp, Mathematical Modelling and Numerical Simulation of Heat Conduction in Liquid Helium. *Proceedings of XXV CILAMCE*, (2004).
- [6] E. Senger, "Modelagem Matemática e Métodos Numéricos para Simulação da Condução do Calor no Hélio Líquido", Tese de Doutorado, LNCC, 2008.
- [7] J. Wilks, "The Properties of Liquid and Solid Helium". Clarendon Press, New York, 1982.