

PRÉMIO NOBEL DA FÍSICA DE 1996

DESCOBERTA DA SUPERFLUIDEZ DO HÉLIO-3

J. FERREIRA DA SILVA

Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Rua do Campo Alegre, 687, 4150 Porto

- Fenómenos quânticos à escala macroscópica
- Supercondutividade
- Superfluides do ^4He
- Superfluides do ^3He
- Superfluides versus supercondutividade

Os dois isótopos do hélio, ^4He e ^3He , têm sido, de longa data, objecto do interesse dos físicos, tanto experimentais como teóricos. A liquefacção do ^4He em 1908 por Heike Kamerlingh Onnes, na Universidade de Leiden, abriu à investigação científica o universo das muito baixas temperaturas de que um dos primeiros frutos foi a descoberta, em 1911, por este mesmo cientista, da supercondutividade em metais. O hélio-3 tem a mais baixa temperatura de liquefacção de todos os elementos, podendo por isso ser utilizado como líquido criogénico a temperaturas inferiores às do hélio-4. Adicionalmente, a mistura liquefeita, em proporções adequadas, dos dois isótopos ^3He e ^4He permite ainda maior aproximação do zero absoluto de temperatura, nos chamados refrigeradores de diluição $^3\text{He}/^4\text{He}$ [1].

É ainda com ^3He que se consegue atingir temperaturas da ordem do milikelvin acima do zero absoluto, por compressão adiabática de uma mistura líquido/sólido, utilizando o chamado efeito Pomeranchuk [2].

O Prémio Nobel da Física foi neste ano atribuído aos físicos americanos David Lee, Douglas Osheroff e Robert Richardson pela descoberta conjunta, no ano de 1971, do fenómeno da superfluides no ^3He líquido, na Universidade de Cornell. Lee e Richardson eram e continuam professores desta Universidade, enquanto Osheroff, então aluno na mesma Universidade, é hoje professor da Universidade de Stanford na Califórnia.

Esta descoberta deu uma importante contribuição para uma melhor compreensão do fenómeno da condensação quântica da matéria às baixas temperaturas, da Física Estatística de sistemas condensados, e estimulou o desenvolvimento do campo das ultra-baixas temperaturas, hoje vasto e com técnicas muito diversificadas, permitindo atingir temperaturas inferiores ao nanokelvin. O fenómeno da superfluides abriu ainda perspectivas no domínio da cosmologia, para o estudo do comportamento da matéria em situações extremas de pressão e temperatura. De igual modo o tipo de interacção responsável pela superfluides do ^3He pode vir a desempenhar um papel na explicação do mecanismo microscópico subjacente à supercondutividade de alta temperatura crítica.

Esta tecnologia criogénica baseada no hélio-3 permite estudar as propriedades da matéria a muito baixas temperaturas, de que são exemplos espectaculares a supercondutividade (ausência de resistividade eléctrica) e a superfluides do hélio líquido (ausência de viscosidade), evidenciando fenómenos quânticos fundamentais que se manifestam à escala macroscópica.

A superfluides do ^4He líquido foi descoberta em 1938, e quase logo compreendida, manifestando-se quando a temperatura desce abaixo de 2.2K. Pôs-se, desde logo, a questão, que subsistiu durante muito tempo, de saber se o ^3He também poderia manifestar superfluides.

A procura da resposta, inçada de dificuldades teóricas e experimentais (pela temperatura extremamente baixa a que a superfluides, a existir, se manifestaria, segundo as previsões teóricas) arrastou-se até 1971, quando David Lee, Douglas Osheroff e Robert Richardson a observaram [3]. O prémio Nobel da Física deste ano rende homenagem, 25 anos depois, à proeza científica destes três investigadores cujo trabalho conjunto conduziu à descoberta da superfluides do ^3He .

Enquanto a superfluides do ^4He pode ser entendida como uma condensação de bosões (os átomos deste isótopo têm spin par e funções de onda simétricas) num único estado fundamental descrito por uma única função de onda, separado por um hiato energético do primeiro estado excitado — o que impede a formação de excitações de baixa energia (inferiores à largura do "gap" energético) — já a presumível superfluides do ^3He punha sérios obstáculos teóricos, por ter átomos com spin semi-inteiro, funções de onda antisimétricas e energia de ponto zero ainda maior que a do ^4He . Ao contrário do ^4He líquido, o ^3He liquefeito é um líquido fermiónico cuja ordenação só seria possível,

tal como nos supercondutores, através de uma hipotética interacção adicional levando a uma adequada aglutinação de fermiões em bosões. Várias teorias já tinham previsto a possibilidade de ocorrer superfluidez baseada em estados tripleto com emparelhamento de fermiões (pares de Cooper) com funções de onda p, a temperaturas extremamente baixas.

Usando o efeito Pomeranchuk os três físicos agora laureados com o Prémio Nobel conceberam e realizaram uma experiência em que o volume ocupado pelo ^3He era reduzido compressivamente ao longo da linha de fusão, a um ritmo constante no tempo. A curva pressão-tempo (Fig. 1) apresentava, abaixo de 3 mK, variações abruptas, quer na inclinação (A) (transição de fase de 2.^a ordem) quer na continuidade (B) (transição de fase de 1.^a ordem) tanto na compressão como na descompressão. Estas anomalias foram inicialmente interpretadas, erroneamente, como devidas à formação de novas fases sólidas. Uma experiência posterior de ressonância magnética nuclear, realizada pela mesma equipa produziu evidência para atribuir à fase líquida do ^3He da mistura líquido/sólido as transições previamente observadas, uma para a fase superfluida (A) e a outra para a fase superfluida (B) do ^3He . Posteriores experiências destes e de outros investigadores confirmaram o acerto desta segunda interpretação dos efeitos primeiro observados pela equipa agora laureada.

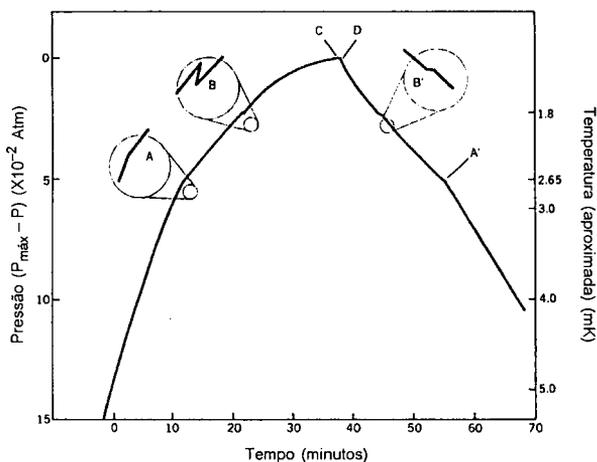


Fig. 1 — Curva de pressurização do ^3He ao longo da linha de fusão para compressão (C) e descompressão (D). Em A e A' dá-se a transição fluido normal \rightarrow superfluido A; em B e B' dá-se a transição superfluido A \rightarrow superfluido B, que manifesta histerese.

Desde então foi reconhecido e comprovado que o ^3He líquido apresenta, quando arrefecido abaixo de 3 mK, não uma mas duas fases superfluidas com características diferentes, $^3\text{He-A}$ e $^3\text{He-B}$ (Fig. 2) (não está excluída a possibilidade de existência de mais fases superfluidas). Subjacente à superfluidez está o emparelhamento dos átomos de ^3He para formar bosões condensáveis (pares de Cooper).

Porque todos os pares de átomos de ^3He estão condensados no mesmo estado, os acoplamentos spin-momento orbital respondem colectivamente, comportando-se o ^3He superfluido como um cristal líquido magnético, manifestando direcionalidade (anisotropia),

podendo ser orientado por influência de factores externos (campos magnéticos, correntes líquidas, superfícies).

O arranjo espacial destas direcções no líquido superfluido é chamado textura. Como os átomos do isótopo ^4He não têm spin, não têm propriedades direccionais, isto é, o ^4He superfluido não tem textura.

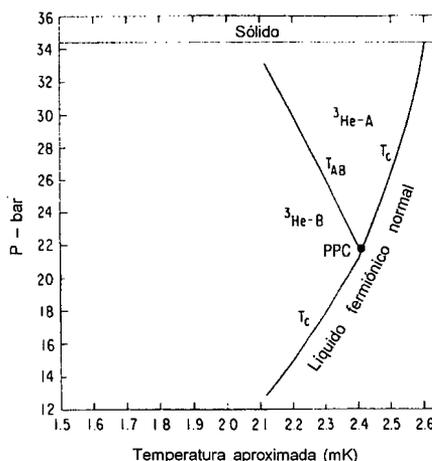


Fig. 2 — Diagrama de fase parcial do ^3He na zona da manifestação da superfluidez.

T_C — Linha de transição fluido normal/superfluido
 PPC — Ponto policrítico
 T_{AB} — Linha de transição superfluido A/superfluido B (que pode ser deslocada por acção de um campo magnético)

No $^3\text{He-A}$ os spins nucleares dos dois átomos emparelhados tendem a orientar-se perpendicularmente ao eixo do movimento orbital. Na fase superfluida B a correlação é mais complicada.

Quando em rotação, um líquido superfluido não roda como um todo como acontece com os líquidos normais. A condição de líquido quântico do superfluido implica que, quando sujeito a rotação, desenvolva vórtices no seu interior. Os tipos de vórtices das duas fases superfluidas (A e B) do ^3He são diferentes, sendo de menor diâmetro os vórtices que se formam na fase B.

O estudo do comportamento do ^3He superfluido pode esclarecer muitas propriedades da matéria condensada ainda não entendidas, desde estrelas de neutrões até ao mecanismo responsável pela supercondutividade de alta temperatura crítica, descoberta na década de 80.

REFERÊNCIAS

- [1] HALL, H. E.; FORD, P. J. and THOMPSON, K. — *Cryogenics* 6 (1966) 80. VILCHES, O. E. and WHEATLEY, J. C. — *Phys. Letters* 24A (1967) 440.
- [2] POMERANCHUK, I. — *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 20 (1950) 919.
- [3] OSHEROFF, D. D.; RICHARDSON, R. C. and LEE, D. M. — *Phys. Rev. Letters* 28 (1972) 885. OSHEROFF, D. D.; GULLY, W. J.; RICHARDSON, R. C. and LEE, D. M. — *Phys. Rev. Letters* 29 (1972) 920.

J. Ferreira da Silva é Professor da Faculdade de Ciências do Porto, Departamento de Física, e responsável de um Grupo de Investigação em Supercondutividade.