



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

A Descoberta da Superfluidez do Hélio-3 e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 1996.

O PNF de 1996 foi concedido aos físicos norte-americanos David Morris Lee (n.1931), Robert Coleman Richardson (n.1937) e Douglas Dean Osheroff (n.1945) pela descoberta da **superfluidez do hélio-3** (${}^3\text{He}$). Quando criança, Lee era fascinado por bichinhos (rãs, peixes, salamandras, cobras, minhocas etc.). No entanto, depois de se interessar por estradas de ferro e por meteorologia, em certo dia de sua adolescência, deparou-se, na biblioteca de seu pai, com o livro **The Mysterious Universe** (Cambridge University Press, 1930) do astrofísico inglês Sir James Hopwood Jeans (1877-1946). Foi a leitura desse livro que o levou a interessar-se pela Física. Depois de concluir a *High School*, em Rye, pequena localidade suburbana de sua cidade natal, New York, em 1948, Lee foi estudar Física na *Harvard University*, em Boston, onde se bacharelou, em janeiro de 1952. Em abril desse mesmo ano, alistou-se no Exército Norte-Americano, que estava envolvido na *Guerra da Coreia* (1950-1953). Certa noite, quando servia como cabo-da-guarda, encontrou-se com o soldado norte-americano Herbert Fried, que fora estudante de pós-graduação do físico norte-americano Paul Zilsel (1923-2006), na *University of Connecticut*, especialista em superfluidez. Foi nessa ocasião que os dois tiveram uma longa conversa sobre a superfluidez do hélio-4 (${}^4\text{He}$), na temperatura de aproximadamente de 2,19 K, que havia sido descoberta, em 1938, independentemente, pelo físico russo Pyotr Leonidovich Kapitza (1894-1984; PNF, 1978), e pelos físicos, o canadense John Frank Allen (1908-2001) e o norte-americano Austin Donald Misener (1911-1996) (vide verbete nesta série).

A conversa com Fried e a mudança de seus pais para Connecticut fizeram Lee entrar para a Universidade dessa cidade, em fevereiro de 1954, logo que deixou o Exército Norte-Americano. Nessa Universidade, fez amizade com o estudante graduado John D. Reppy, que trabalhava no grupo experimental que desenvolvia pesquisas em superfluidez e baixa temperatura, do qual participava o físico norte-americano Charles Reynolds. Foi esse físico quem fez Lee interessar-se por aquele tipo de pesquisa física (superfluidez). Depois de completar o Mestrado em Ciência, em Connecticut, inscreveu-se no Programa de Doutorado no Departamento de Física da *Yale University* (YU), no verão de 1955. Seu orientador de tese foi o físico norte-americano Henry A. Fairbank, um dos pioneiros na pesquisa do ${}^3\text{He}$, e o primeiro tema de seu trabalho de Tese foi o de medir a condutividade térmica desse isótopo líquido He. Contudo, no decorrer dessa medida, Lee fez uma observação inesperada, qual seja, que a densidade desse líquido se tornava máxima em torno da temperatura $T_m \sim 0,5$ K, o que tornava o coeficiente de expansão térmica $\kappa < 0$. Note-se que esse trabalho de Lee com Fairbank foi publicado em 1959 (*Physical Review* **115**, p. 1359). Em janeiro de 1959, depois de obter o título de Doutor em Física pela YU, Lee foi para o Departamento de Física *Cornell University*, em Ithaca, no Estado de New York, com a função de montar um Laboratório de Física de Baixa Temperatura e ser *Lecturer* desse Departamento. Na criação desse Laboratório, Lee contou com a participação de seu antigo amigo Reppy e de Richardson, que viera da *Duke University*. Foi ainda nesse Laboratório que ele recebeu Osheroff como aluno de pós-graduação. Juntos, Lee, Richardson e Osheroff realizaram a célebre descoberta que o levaram ao Nobelato. Antes de tratar dessa descoberta, vejamos alguns aspectos da carreira científica de Richardson e de Osheroff.

Depois de concluir a *Washington-Lee High School*, Richardson entrou para o *Virginia Polytechnic Institute* (VPI), no outono de 1954. Nesse Instituto, ele entrou, compulsoriamente, no ROTC (*Reserve Officers Training Corps*), em seu Corpo de Cadetes, como estudante de Engenharia Elétrica.

Contudo, logo se entediou de tanto aplicar as **leis de Kirchhoff** (ver verbete nesta série) na solução de circuitos elétricos, e resolveu, então, graduar-se em Química. Seu daltonismo, no entanto, tornou difícil o estudo das análises qualitativas das substâncias. Desse modo, ele, finalmente, terminou seu *College* como físico. Depois de iniciar um projeto de Mestrado em Física, no VPI, no qual permaneceu um ano, Richardson foi realizar seu Serviço Militar no Exército Norte-Americano, entre novembro de 1950 e maio de 1960, no *Ordnance Corps*, em Aberdeen Proving Ground, no Estado de Washington. O trabalho rotineiro de conduzir um pelotão (*platoon*) fez Richardson decidir-se, no outono de 1960, em fazer Doutorado em Física, na *Duke University*, North Caroline, sob a orientação do físico Horst Meyer. Assim, com auxílio do físico Earle Hunt, concluiu, em 1965, sua Tese de Doutorado (defendida em 1966), na qual aplicou a técnica da NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) (vide verbete nesta série) no estudo da interação de troca do ${}^3\text{He}$ sólido. Registre-se que Richardson, Hunt e Meyer apresentaram os resultados desse estudo, em 1965 (*Physical Review* **A138**, p. 1326). Por fim, na primavera de 1966, Richardson foi para a *Cornell University* trabalhar com Lee e Reppy, no *Laboratory of Atomic and Solid State Physics* dessa Universidade, no qual Lee dirigia o Laboratório de Física de Baixa Temperatura, como falamos antes. Registre-se que, em 1975, Richardson foi indicado *Lecturer* de Física daquela Universidade.

Durante sua infância e adolescência, Osheroff sempre se ocupou com trabalhos relacionados à Eletricidade, Mecânica e Química. Em seu último ano no *High School*, em sua cidade natal, Aberdeen, no Estado de Washington, construiu uma máquina de raios-X de 100 keV. Osheroff realizou seu *College* no CALTECH (*California Institute of Technology*), em Pasadena, no Estado da Califórnia. Neste Instituto, ele foi estimulado a trabalhar na então Física do Estado Sólido (hoje, Física da Matéria Condensada) ao participar com os físicos norte-americanos Don McCullum e Walter Ogier, em uma experiência para atingir a temperatura de 0,5 K com um filme superfluido imerso em um banho de He. Depois de graduado no CALTECH, Osheroff decidiu realizar sua pós-graduação na *Cornell University*, trabalhando com Lee e Richardson. Foi nessa ocasião que, em novembro de 1971, eles realizaram a notável descoberta da **superfluidade do hélio-3**, usando a **cavidade Pomeranchuk** (*Pomeranchuk cell*) (vide verbete nesta série). Vejamos como eles chegaram a essa descoberta.

Conforme vimos antes, Kapitza e, independentemente, Allen e Misener anunciaram, em 1938, a descoberta da **superfluidade do hélio-4**, na temperatura aproximada de 2,19 K. Também em 1938, os físicos norte-americanos Hans Albrecht Bethe (1906-2005; PNF, 1967) (de origem alemã) e Charles Louis Critchfield (1910-1914) anunciaram a possível existência do ${}^3\text{He}$, cuja descoberta oficial só foi anunciada em 1939, no ano em que eclodiu a *Segunda Guerra Mundial*. Em virtude dessa Guerra, as pesquisas sobre esse raro isótopo do He só se intensificaram depois de seu término, em 1945, como subproduto do programa de produção de bombas atômicas e nucleares (ver verbete nesta série). Assim, dentro desse programa, esse isótopo foi obtido pelo decaimento beta do trítio (${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$, em notação atual), nas experiências realizadas, em 1949 (*Physical Review* **75**, p. 1103), por E. R. Grilly, E. F. Hammel e S. G. Sydoriak. Logo em 1950 (*Zhurnal Eksperimental'noi i Teoretiskoi Fiziki* **20**, p. 919), o físico russo Isaak Yakovlevich Pomeranchuk (1913-1966) sugeriu que temperaturas baixas poderiam ser obtidas solidificando o ${}^3\text{He}$ por compressão adiabática do estado líquido desse isótopo do He. Observe-se que, nessa ocasião, ainda não havia sido obtido esse estado líquido. Segundo Pomeranchuk, em baixas temperaturas, o hélio-3 líquido, por possuir spin fracionário em seu núcleo composto de dois prótons ($p = \frac{1}{2}\hbar$) e um nêutron ($n = \frac{1}{2}\hbar$), se tornaria um *fluido fermiônico* degenerado, com sua entropia (S) dependendo linearmente da temperatura (T). Esse processo de resfriamento ficou conhecido como **efeito Pomeranchuk** ou **resfriamento Pomeranchuk** (vide verbete nesta série). Logo em 1951, o físico alemão Heinz London (1907-1970) apresentou a ideia de que temperaturas estáveis, na região de milikelvins (1 mK = 10^{-3} K), poderiam ser obtidas usando-se um novo tipo de refrigerador – **refrigerador de diluição** –, baseado nas propriedades das misturas de ${}^3\text{He}$ e ${}^4\text{He}$. Mais tarde, em 1956 (*Zhurnal Eksperimental'noi i Teoretiskoi Fiziki* **30**, p. 1058), o físico russo Lev Davidovich Landau

(1908-1968; PNF, 1962) formulou sua famosa teoria do **líquido quântico de Fermi** para explicar as propriedades do hélio-3 líquido (vide verbete nesta série).

Quando Lee chegou à *Cornell University*, em 1959, uma de suas primeiras missões, segundo falamos acima, foi a de montar um Laboratório de Baixa Temperatura. Com ele montado, objetivava estudar o He, principalmente investigar as propriedades do ${}^2\text{He}^3$ líquido em temperaturas abaixo de 1 K. Note-se que um dos resultados importantes obtidos por Lee nesse laboratório foi a experiência realizada com F. P. Lipschultz com a qual fizeram a primeira observação do **som transversal** no ${}^2\text{He}^4$ sólido, em 1965 (*Physical Review Letters* **14**, p. 1017). Foi por essa ocasião que Lee começou a pensar na construção de uma **cavidade Pomeranchuk**, baseada no **efeito Pomeranchuk**, para conseguir temperaturas cada vez mais baixas, seguindo a sugestão apresentada por seu orientador Fairbank, quando ainda trabalhava na *Yale University*. A ideia dessa construção foi discutida com os físicos Paul Craig, Thomas Kitchens, Myron Strongin e Victor Emery, no *Brookhaven National Laboratory*, por ocasião em que Lee realizava o seu ano sabático 1966-1967. É oportuno registrar que o físico russo Yuri D. Anufriyev, em 1965 [*Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP) Letters* **1**, p. 155], já havia iniciado a construção de sua **cavidade Pomeranchuk**, com a qual obteve a temperatura da ordem de 20 mK.

De volta a *Cornell*, Lee, com a colaboração de Reppy e Richardson e, também, dos estudantes de doutoramento James R. Sites, Linton R. Corruccini e Osheroff, começou a construir um **refrigerador de diluição** diluindo o ${}^2\text{He}^3$ líquido em ${}^2\text{He}^4$ superfluido, para obter temperatura da ordem de 15 mK; esse refrigerador serviu de plataforma para a futura *Cornell Pomeranchuk Cell*. Com esse equipamento, Sites, Osheroff, Richardson e Lee realizaram experiências sobre a medida da suscetibilidade magnética da fusão do ${}^2\text{He}^3$, em temperaturas em torno da transição de fase magnética nuclear desse isótopo do He, que são da ordem de 2 mK. Essas experiências, cujos resultados se tornaram a base da Tese de Doutorado de Sites, foram publicadas em 1969 (*Physical Review Letters* **23**, p. 836). Observe-se que temperaturas menores do que 2 mK foram conseguidas pelo grupo de John C. Wheatley da *University of California*, San Diego (La Jolla), em experiências também realizadas em 1969 (*Physical Review Letters* **22**, p. 449), com a participação de R. T. Johnson, R. Rosenbaum e O. G. Symko, e em 1970 (*Journal of Low Temperatures Physics* **2**, p. 403), com esse mesmo grupo acrescido do físico finlandês Olli V. Lounasmaa (1930-2002). Nessas experiências, Wheatley melhorou o equipamento de Anufriyev.

Por volta de 1970, Lee e Richardson, com a participação de Osheroff e Corruccini, começaram a testar a previsão teórica que havia sido feita pelos físicos norte-americanos Anthony J. Leggett (n.1938; PNF, 2003) (de origem inglesa) e Michael John Rice (1940-2002), em 1968 (*Physical Review Letters* **20**; **21**, p. 586; 506) e confirmada por Leggett, em 1970 (*Journal of Physics* **C3**, p. 448), sobre os efeitos de campos moleculares no comportamento do resfriamento do ${}^2\text{He}^3$ enquanto líquido fermiônico, efeitos esses conhecidos como o **fenômeno da difusão do spin** (vide verbete nesta série). Para realizar aquele teste, Corruccini, com a colaboração de Osheroff, desenvolveu, como seu projeto de Tese de Doutorado, um equipamento para resfriar, com uma *Pomeranchuk cell*, o ${}^2\text{He}^3$ líquido em temperaturas abaixo de 6 mK. O equipamento funcionou e, com ele, confirmaram a previsão de Leggett-Rice, conforme artigo publicado por Corruccini, Osheroff, Lee e Richardson, em 1971 (*Physical Review Letters* **27**, p. 650). Uma nova confirmação foi por eles apresentada em 1972 (*Journal of Low Temperatures Physics* **8**, p. 119).

Depois de participar dessas experiências, Osheroff começou a desenvolver a sua própria *Pomeranchuk cell* como projeto de sua Tese de Doutorado e, com ela, checar um novo resultado obtido por Johnson, R. E. Rapp e Wheatley, em 1971 (*Journal of Low Temperatures Physics* **6**, p. 445), relacionado com uma depressão observada na curva de pressão de fusão do ${}^2\text{He}^3$ sólido, o que significava uma magnetização irregularmente larga desse sólido em baixos campos magnéticos. Quando Osheroff, em 24 e 29 de novembro de 1971, estava medindo aquela curva de pressão, em função do tempo, usando um transdutor de pressão capacitiva que havia sido inventado por G. C.

Straty e E. D. Adams, em 1969 (*Review of Scientific Instruments* **40**, p. 1393), Osheroff percebeu que, na temperatura que havia estimado para realizar aquela medida, em torno de 2,6 mK, haviam dois pontos nessa curva de pressão *versus* tempo, denominados por ele de A e B, nos quais havia uma mudança de sua deflexão, sendo que, no ponto B, havia uma brusca queda na pressão. Esse resultado aparentemente “acidental” foi discutido por Osheroff, com Richardson e Lee, e juntos resolveram escrever um artigo sobre ele, e que foi publicado, em 1972 (*Physical Review Letters* **28**, p. 885). Esse artigo é hoje reconhecido por haver anunciado a descoberta da **superfluidez do hélio-3**, na temperatura de 2,7 mK. Registre-se que essa descoberta foi confirmada por Osheroff, Willie J. Gully, Richardson e Lee, ainda em 1972 (*Physical Review Letters* **29**, p. 920); por Anufriyev, T. A. Alvesalo, H. K. Collan, N. T. Opheim e P. Wennerström, em 1973 (*Physics Letters* **A43**, p. 175); e por Alvesado, Anufriyev, Collan, Lounasmaa e Wennerström, ainda em 1973 (*Physical Review Letters* **30**, p. 962). Note-se que essa descoberta recebeu explicações teóricas de Leggett, em 1972 (*Physical Review Letters* **29**, p. 1227), em 1973 (*Journal of Physics C: Solid State Physics* **6**, p. 2187; *Physical Review Letters* **31**, p. 352), em 1974 [*Annals of Physics (New York)* **85**, p. 11], e em 1975 (*Reviews of Modern Physics* **47**, p. 331).

É oportuno destacar que, depois de defender sua Tese de Doutorado, em 1973, na *Cornell University*, Osheroff foi trabalhar nos *Bell Laboratories*, em Murray Hill, New Jersey, ficando lá até 1987, quando então aceitou a posição de Professor na *Stanford University*. Enquanto pesquisava na *Bell*, Osheroff continuou trabalhando com o ${}^2\text{He}^3$ sólido em busca de entender melhor o que havia descoberto em 1971. Desse modo, ele foi levado a uma outra grande descoberta. Com efeito, na *Cornell University*, Richardson realizava experiências para estudar novas propriedades do ${}^2\text{He}^3$ superfluido usando uma nova *Pomeranchuk cell* construída como decorrência do trabalho de seu aluno de doutorado William P. Halperin. Em duas dessas experiências, Richardson, Halperin, C. N. Archie, F. B. Rasmussen, R. A. Buhrman e Richardson, em 1974 (*Physical Review Letters* **32**, p. 927), e Halperin, Archie, Rasmussen e Richardson, em 1975 (*Physical Review Letters* **34**, p. 718), observaram uma queda na entropia do spin do ${}^2\text{He}^3$ sólido quando a temperatura era da ordem de 1 mK. Em 1980 (*Physical Review Letters* **44**, p. 789), Osheroff, Michael C. Croos e Daniel S. Fisher descobriram que aquela queda decorria de uma ressonância antiferromagnética (vide verbete nesta série) na fase ordenada do spin nuclear do ${}^2\text{He}^3$ sólido. Eles observaram que a orientação dos planos ferromagnéticos de spins desse sólido se alternavam, ora dois planos para cima (*up*), ora dois planos para baixo (*down*). Eles denominaram essa fase ordenada de U2D2, significando **up2down2**, para homenagear o famoso *robot R2D2* do filme *Guerra nas Estrelas* (“Star Wars”), em cartaz por essa ocasião. Destaque-se, por fim, que novos aspectos da vida, bem como de trabalhos realizados por Lee, Richardson e Osheroff, depois de sua descoberta da **superfluidez do hélio-3**, encontram-se em suas respectivas Autobiografias e *Nobel Lectures*: David Morris Lee, **The Extraordinary Phases of Liquid ${}^3\text{He}$** (07 de Dezembro de 1996); Douglas Dean Osheroff, **Superfluidity in ${}^3\text{He}$: Discovery and Understanding** (07 de Dezembro de 1996); Robert Coleman Richardson, **The Pomeranchuk Effect** (07 de Dezembro de 1996). (*e-Nobel Museum*).



ANTERIOR

SEGUINTE