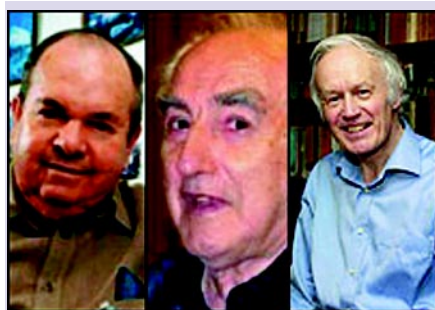


.....

Nelson Studart

Departamento de Física
Universidade Federal de São Carlos

.....



Os laureados

Os três cientistas que colaboraram para elucidar o estranho comportamento da matéria em temperaturas extremamente baixas e dividiram o Prêmio Nobel de Física de 2003 são Alexei Abrikosov (Laboratório Nacional Argonne, EUA, primeiro à esquerda), Vitaly Ginzburg (Instituto Lebedev, Moscou, ao centro), e Anthony Leggett (Universidade de Illinois, EUA, à direita) pelas “contribuições decisivas relacionadas a dois fenômenos da física quântica: supercondutividade e superfluidez”.

A mecânica quântica que se estuda, como parte do programa de Química e Física Moderna em escolas de Ensino Médio destina-se, em geral, a discutir o modelo atômico como base para a compreensão dos elementos químicos e suas ligações para formar moléculas. Conceitos como a quantização da energia, dualidade onda-partícula, e princípio da incerteza, entre outros, são introduzidos para entender o comportamento da matéria e da radiação no microcosmo. A razão para isto é que efeitos fascinantes do mundo quântico normalmente não se manifestam no macrocosmo comum.

A matéria ordinária pode ser encontrada na forma de líquidos e sólidos, além dos gases e plasmas. Em geral, os sólidos e líquidos não exibem fenômenos quânticos que são diretamente observados do ponto de vista macroscópico. Considere, por exemplo, uma classe de materiais bem conhecida: os metais e suas ligas. Suas propriedades de condução térmica e elétrica são determinadas pelas leis clássicas do eletromagnetismo (lei de Ohm para exemplificar) e do calor considerando os elétrons se movendo entre os átomos que vibram em torno de suas posições de equilíbrio.

No entanto, em temperaturas muito baixas (perto do zero absoluto) alguns metais podem conduzir uma corrente elétrica sem resistência ou perda de energia. São os supercondutores, que possuem ainda a propriedade de excluir completa ou parcialmente as linhas de campo magnético. A supercondutividade em metais foi descoberta em 1911, pelo físico holandês Heike Kamerling Onnes (laureado com o prêmio Nobel de 1913 por este trabalho) após ter

conseguido liquefazer o gás hélio em torno de 4 K (-269 °C). Ele observou que, a estas temperaturas, a resistência elétrica do mercúrio desaparecia.

Existem duas classes desses materiais. Os supercondutores do tipo I repelem totalmente o campo magnético mas perdem sua supercondutividade se o campo excede um certo valor-limite. Uma teoria, proposta em 1958, explicando este fenômeno valeu o Prêmio Nobel a John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer em 1972. Nesta teoria, conhecida como teoria BCS – iniciais dos sobrenomes de seus autores –, os elétrons (carregados negativamente) formam pares no estado supercondutor, chamados pares de Cooper, que fluem em canais atrativos gerados pelos arranjos regulares dos átomos (carregados positivamente) do metal. Estes pares constituem um novo estado quântico da matéria, um condensado semelhante a gotas formadas em um gás muito frio. Este “líquido de elétrons” forma um sistema supercondutor.

Ao contrário, os supercondutores do tipo II – ligas de vários metais e compostos de cobre e elementos não-metálicos – excluem apenas parcialmente as linhas de campo magnético e mantêm suas propriedades supercondutoras mesmo em campos intensos. As experiências mostraram que os supercondutores do tipo II não podem ser descritos pela teoria BCS (vide Figura 1).

O físico **Alexei Abrikosov**, então no Instituto Kaptiza em Moscou, estendeu com rara competência uma teoria elaborada nos anos 50 pelo outro laureado **Vitaly Ginzburg** e Lev Landau. A teoria de Ginzburg-Landau se propunha a descrever a supercon-

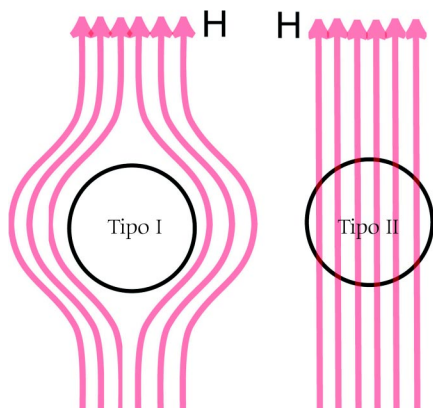


Figura 1. Materiais supercondutores do tipo I excluem as linhas de campo magnético, enquanto que os do tipo II deixam penetrar campos magnéticos intensos.

atividade e o campo magnético crítico em termos da densidade do “condensado supercondutor”, chamado tecnicamente de parâmetro de ordem. Abrikosov mostrou como este parâmetro descreve redemoinhos dentro do material e como o campo magnético pode penetrar ao longo de canais gerados por estes vórtices. Esta descrição teve enorme sucesso no estudo dos antigos materiais supercondutores do tipo II e ainda hoje é utilizada na análise de novos supercondutores e ímãs.

Supercondutores são usados em aplicações do dia-a-dia, como na geração de imagens de ressonância magnética nos laboratórios médicos, aparelhos de diagnósticos (*scanners*) que se baseiam em bobinas supercondutoras para gerar campos magnéticos intensos (sem os materiais supercondutores, os ímãs consumiriam muita energia tornando-se muito quentes e pouco eficientes), levitação de trens (ainda em estágio bastante embrionário) e no resfriamento de alguns componentes das redes de telefones celulares.

Assim como ocorre com a supercondutividade, o fenômeno da superfluidez envolve também um fluxo de partículas sem resistência mecânica (atrito) e nenhuma energia, associada ao movimento, é perdida. O gás mais leve – o hélio – se encontra na natureza na forma de dois isótopos: o mais abundante ^4He , com seu núcleo formado por dois prótons e dois nêutrons, e o mais raro ^3He (produzido em grandes quantidades apenas em usinas nucleares) com dois prótons e apenas um

nêutron no núcleo. Como vimos, se o ^4He é resfriado a temperaturas aproximadamente de 4 K, assume a forma líquida do mesmo modo que vapor se transforma em água. Se o hélio líquido é resfriado a temperaturas ainda mais baixas, efeitos quânticos espetaculares surgem e o líquido flui sem nenhum atrito ao movimento interno. Os líquidos de hélio tornam-se superfluidos e exibem propriedades fascinantes como, por exemplo, subir livremente pelas paredes de um recipiente. A temperatura de transição para o ^4He é bastante diferente daquela para o ^3He . A descoberta da superfluidez do ^4He foi feita por Pyotr Kapitza (vencedor do Nobel em 1978) e outros na década de 30 e o fenômeno foi explicado imediatamente após pelo físico teórico Lev Landau (Prêmio Nobel de 1962 por este trabalho) e outros cientistas como uma manifestação de um processo conhecido como condensação de Bose-Einstein. Na verdade, até hoje não existe uma teoria microscópica bem estabelecida para explicar este fenômeno.

No caso do isótopo ^3He , a superfluidez só foi comprovada no início da década de 70 com uma temperatura de transição do líquido normal para superfluido muito mais baixa do que a do ^4He (cerca de 1000 vezes menor!). A descoberta valeu o Prêmio Nobel a Douglas Osheroff, David Lee e Robert Richardson em 1996. Apesar de isótopos, os efeitos quânticos se manifestam de forma diversa nos líquidos ^4He e ^3He porque seus átomos possuem uma propriedade fundamental diferente: o spin. Assim como os elétrons, os átomos de ^3He possuem spin semi-inteiro e pertencem a uma classe de partículas chamadas de férmions. O spin do ^4He é inteiro e integra a família dos bósons. Uma coleção de muitos férmions exibe um comportamento completamente diferente de um sistema de muitos bósons. Neste sentido, a superfluidez do líquido ^3He poderia ser explicada por um mecanismo semelhante aos pares de Cooper da supercondutividade do tipo I em vez do mecanismo da condensação de Bose-Einstein do seu parceiro ^4He .

O trabalho de **Anthony Leggett**

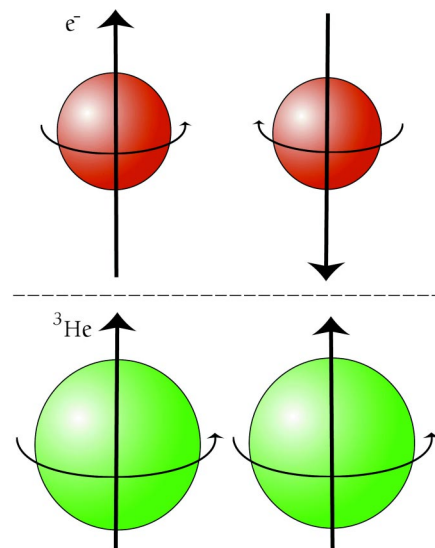


Figura 2. A formação do par de Cooper ocorre com os elétrons com spins invertidos enquanto que no caso dos átomos de ^3He , os spins apontam na mesma direção.

foi decisivo na explicação das propriedades deste novo superfluido mostrando que a formação dos pares de átomos apresentava um caráter diferente daquele dos pares de Cooper. Sua teoria foi usada para explicar coerentemente os resultados experimentais. – “Alguém está faltando nesta premiação!”. Assim se manifestou Douglas Osheroff em 1997, referindo-se a Tony Leggett.

Como o estado superfluido do ^3He é formado por pares de átomos, as suas propriedades são muito diferentes das do ^4He superfluido. Estes pares possuem

propriedades magnéticas que fazem com que o ^3He superfluido exiba diferentes propriedades em diferentes direções, ou seja, fenômenos anisotrópicos. Estas propriedades dependem fortemente da temperatura, pressão e campo magnético fazendo com que o ^3He apresente uma estrutura muito rica de fases superfluidas.

Embora não tenha sido encontrada nenhuma aplicação prática para a superfluidez do ^3He , experiências têm sido realizadas para entender o mecanismo de turbulência em líquidos, que ainda é um dos problemas não resolvidos da Física Clássica. Alguns pesquisadores acreditam ainda que o estudo da fase superfluida do ^3He possa levar alguma luz à compreensão de modelos cosmológicos.

Supercondutores são usados em aplicações do dia-a-dia, como na geração de imagens de ressonância magnética nos laboratórios médicos