

# Supercondutividade a alta temperatura

## O Prémio Nobel de Física — 1987

J. FERREIRA DA SILVA

Laboratório de Física da F.C.U.P. — 4000 Porto

Centro de Física da U.P., I.N.I.C.

«Since 1911 superconductivity at room temperature has been the dream of scientists and science-fiction writers alike. .... Especially since 1957, with the advent of the Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) theory many hundreds of papers and learned treatises have appeared describing and predicting superconductivity at elevated temperatures, at room temperature, and even above. And yet, these papers have not led to a single success in raising the transition temperature».

Bernd Matthias in Physics Today, Agosto 1971, p. 23.



Karl Alex Müller, 60 anos, suíço, «IBM fellow», físico experimental do estado sólido com trabalhos relevantes no campo dos semicondutores e supercondutores, líder de um grupo de investigação no laboratório da IBM em Rüschlikon, Zürich. A condição de «fellow» da IBM confere perfeita liberdade de escolha de tema de investigação e grande disponibilidade de meios financeiros para a pesquisa científica.

Johannes Georg Bednorz, 37 anos, alemão federal, antigo aluno de K. A. Müller e seu colaborador no laboratório IBM de Rüschlikon (\*).

Se o notável físico experimental que subcreveu a afirmação acima transcrita (e outros «mimos» de igual ou pior jaez visando a especulação teórica na área da supercondutividade) tivesse vivido até Junho do ano passado certamente que teria rejubilado ao ler o artigo inserto a páginas 189-193 do volume 74 (1986) de Zeitschrift für Physik B (Condensed Matter) da autoria de J. G. Bednorz e K. A. Müller, investigadores do laboratório IBM Zürich, modestamente/cautelosamente intitulado «Possible High  $T_c$  Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System». É que, na verdade, o

primeiro período do texto do artigo é uma citação — «At the extreme forefront of research in superconductivity is the empirical search for new materials» — que enquadra, com perfeita justeza a postura de Matthias perante o desafio posto aos físicos pelo fenómeno da Supercondutividade. Além de que,

---

(\*) Nos mesmos laboratórios da IBM em Rüschlikon foi realizada a investigação científica cujo resultado — microscópio de efeito túnel — mereceu aos seus autores o Prémio Nobel de Física 1986.

e sobretudo, o artigo representa o rasgar do caminho que Mathias tão afanosamente havia procurado.

Longa tinha sido a pesquisa de supercondutores de elevada temperatura crítica,  $T_c$ , abaixo da qual o fenómeno se manifesta, com larga contribuição do próprio Matthias, guiada, fundamentalmente, pelas regras empíricas por ele mesmo descobertas e que inculcavam máximos de  $T_c$  em metais, ligas e compostos intermetálicos com um número de electrões de valência por átomo igual a 3, 5 ou 7. Essa pesquisa, assim orientada, culminou com a descoberta, em 1973, de um máximo de  $T_c=23,2$  K em  $Nb_3Ge$  (J. R. Gavaler).

A supercondutividade havia sido descoberta em 1911 em Leiden por Heike Kamerlingh Onnes, em mercúrio. Com as facilidades criogénicas de que Onnes dispunha, então únicas no mundo pois foi o primeiro a liquefazer o hélio, arrefecendo um fio de mercúrio à temperatura do hélio líquido verificou que abaixo de 4,2 K este metal não apresentava o menor vestígio de resistência eléctrica. O espectacular fenómeno, também manifestado em outros metais (não todos), ligas e compostos intermetálicos acabaria, mais tarde (1933), por revelar ainda outra faceta igualmente exótica —efeito Meissner: perfeito diamagnetismo (exclusão do campo magnético). A perfeita condutividade eléctrica dos supercondutores fez deles, desde logo, potenciais candidatos para a construção de poderosos electromagnetes mas a desilusão depressa sobreveio quando se constatou que um campo magnético de fraca intensidade restabelecia a resistência eléctrica (campo crítico) reintroduzindo, conseqüentemente, as perdas por efeito Joule. Foi só nos primeiros anos da década de sessenta que Kunzler e colaboradores nos E.U.A., na esteira da onda de interesse despertada pelo trabalho teórico do soviético Abrikosov, descobrem os supercondutores ditos de 2.<sup>a</sup> espécie, caracterizados por terem (para a época) elevada temperatura crítica e elevadíssimos valores do campo crítico (centenas de kilogauss em com-

paração com as escassas centenas de gauss dos primeiros supercondutores, ditos de 1.<sup>a</sup> espécie).

A corrida aos Supercondutores prosseguiu activamente em grande número de laboratórios universitários e das grandes empresas multinacionais mas após 1973, altura em que eram já decorridos 62 anos sobre a descoberta do fenómeno,  $T_c$  «apenas» havia sido aumentada de 19 graus! Claro que com materiais do tipo  $Nb_3Ge$  já não se punha o condicionamento económico da necessidade de refrigeração por hélio líquido, que é caro, mas o hidrogénio líquido necessário para refrigerar os novos supercondutores de  $T_c$  elevada (agora ditos da 1.<sup>a</sup> geração) também não oferecia garantias de segurança porque é potencialmente explosivo.

O campo de aplicação dos supercondutores é vastíssimo, pelo que a descoberta de um material que supercondusisse a temperaturas economicamente viáveis escorvaria uma revolução tecnológica. Não obstante os largos investimentos feitos e os esforços de milhares de investigadores, o recorde dos 23,2 K permaneceu imbatido durante 13 anos, muito embora muitos novos supercondutores tenham sido, no entretanto, descobertos (supercondutores orgânicos, fases de Chevrel, entre outros). Por isso que o artigo de Bednorz e Müller comunicando à comunidade científica a descoberta da possível manifestação de supercondutividade a 30 K numa mistura de fases cristalinas no sistema La-Ba-Cu-O produziu uma febril excitação à escala do planeta que lançou os físicos do estado sólido numa corrida desenfreada, primeiro para confirmar os resultados anunciados e logo para tentar superar a descoberta. Uma rápida sucessão de resultados é fruto dessa corrida: — A estrutura da fase responsável pela nóvel supercondutividade é identificada (Takagi et al., Cava et al.); a qualidade das amostras é melhorada, passando  $T_c$  para 40 K e 57 K sob pressão (Chu et al.); o espriamento da transição é reduzido para 1,4 K (Cava et al.); supercondutividade é descoberta nos sistemas de fase mista Y-Ba-Cu-O com  $T_c=98$  K (Chu et al.); é identificada como ortorrômbica

a fase responsável pela supercondutividade em  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (Chu et al.). Tudo isto no escasso intervalo de menos de um ano após a comunicação de Bednorz e Müller. A supercondutividade «mundaniza-se» pois que os «media» a noticiam largamente e magazines dela se ocupam com regularidade. Surgem as referências a registos de patentes e um prenúncio de restrição informativa no tocante à caracterização das amostras, muito mal recebido pela generalidade da comunidade científica. Físicos e químicos que nunca haviam «tocado» a supercondutividade nela se embrenham. É a grande moda. A corrida, enfim!

Investigadores têm, por vezes, referido a observação de aparentes sinais de supercondutividade a temperaturas bastante mais elevadas (240 K, C. W. Chu) sobretudo em amostras virgens, mas essas observações não se têm mostrado reprodutíveis, especulando-se que o evanescente fenómeno esteja relacionado com uma nova fase supercondutora, instável.

De entre as espécies cerâmicas supercondutoras os compostos Y-Ba-Cu-O subsistem como os primeiros materiais a manifestar supercondutividade acima do ponto de ebulição normal do azoto, mérito a creditar a C. W. Chu e colaboradores. O volume de resultados obtidos com base nestes compostos é considerável sabendo-se já, em particular, como as propriedades supercondutoras dependem do desvio  $\delta$  do teor de oxigénio em relação à composição estequiométrica e do tratamento térmico pós-síntese. É igualmente conhecido que a substituição de Y por outro elemento, paramagnético, de terras raras não afecta grandemente a temperatura crítica o que, atenta a posição do Y na estrutura (ortorrômbica) destes óxidos polimetálicos, reforça a ideia de que a interacção responsável pela supercondutividade nestes materiais é de carácter bidimensional tendo apenas que ver com o encadeamento planar Cu-O-Cu.

As cerâmicas que manifestam propriedades supercondutoras são «grosso modo» preparadas por reacção a temperatura adequada de óxidos e carbonatos dos metais intervenientes e subsequente tratamento térmico em atmosfera

controlada de oxigénio; processo que não exige nem grandes meios nem equipamento sofisticado. Têm uma estrutura granular, provavelmente responsável pelo carácter percolativo da supercondutividade que manifestam, havendo que distinguir o que poderá ser supercondutividade intra-grão do efeito (Josephson?) de acoplamento intergrãos.

Para eliminar ambiguidades patentes em alguns resultados obtidos em tais amostras o ideal seria dispor de monocristais, o que já é possível. Medidas efectuadas em monocristais revelam elevado grau de anisotropia, compatível com a ideia, que se vem generalizando, de que a interacção responsável pela supercondutividade se desenvolve (apenas?) nas camadas basais da estrutura ortorrômbica da fase supercondutora.

No que respeita à origem da supercondutividade nestes materiais cerâmicos vários mecanismos exóticos (entenda-se outros que não a convencional interacção electrão/electrão mediada pelos quanta de vibração da rede cristalina) têm sido propostos mas nenhum, até à data, confirmado. Sabe-se, isso sim, que é crucial para a ocorrência do fenómeno nestes óxidos polimetálicos a sequência ordenada de átomos de Cu e O com vazios de O regularmente espaçados. O actual desacerto entre os resultados experimentais e as tentativas teóricas formuladas tem, por vezes, aspectos curiosos. Segundo um físico teórico (Lee), as altas temperaturas às quais tem sido encontrada supercondutividade nos óxidos polimetálicos são demasiado baixas comparadas com a predição de  $T_c$  saídas dos seus cálculos!

Experimentalmente a supercondutividade em cerâmicas tem sido, e é, confirmada através de medidas de resistência eléctrica e de magnetização, tanto c.c. como c.a. e é este segundo tipo de medidas (como o calor específico) que pode dar informação sobre quanto do material é, de facto, supercondutor. Perfeito diamagnetismo c.c. só um supercondutor ideal pode produzir. Embora esse perfeito diamagnetismo não tenha sido observado em amostras cerâmicas, de textura granular, recentes resultados em monocristais afirmam-no.

A aplicação tecnológica dos supercondutores cerâmicos não será imediata pois que os requisitos necessários não estão ainda, em muitos aspectos, conseguidos. Assim, a construção de electromagnetes supercondutores só será possível quando se dispuser de um material dúctil, capaz de transportar elevada densidade de corrente ( $\sim 10^6 \text{A/cm}^2$ ) ou, ladeando a dificuldade, quando for possível efectuar revestimentos cerâmicos nos enrolamentos dos electromagnetes. Recentemente a deposição epitaxial de filmes veio permitir a considerável melhoria das performances dos filmes supercondutores no que respeita à densidade da corrente, tendo-se já atingido os valores típicos dos supercondutores de 2.<sup>a</sup> espécie da 1.<sup>a</sup> geração.

A interferometria quântica (associada ao efeito Josephson) já se observou em cerâmicas supercondutoras — outra base de possível desenvolvimento tecnológico cujas aplicações se estendem à Medicina (magnetencefalografia e magnetocardiologia).

O desafio está posto: — a fenomenologia da supercondutividade a elevada temperatura enriquece-se dia a dia. Aguarda-se a teoria que a explique. O Comité Nobel entendeu que o feito de Bednorz e Müller era, em si mesmo sem mais acréscimos, e a menos de 2 anos do seu cometimento, merecedor do galardão máximo. Certamente que o Comité Nobel manterá de reserva a possível concessão de igual prémio ao(s) físico(s) teórico(s) que primeiro explicar(em) o mecanismo subjacente ao intrigante fenómeno e, (porque não?) ao(s) físico(s) experimental(is) que eventualmente descubra(m) supercondutividade à temperatura ambiente.

A importância da descoberta de Bednorz e Müller é bem sublinhada pelo curto intervalo de tempo que mediou entre a publicação dos resultados e a concessão do galardão Nobel — menos de ano e meio. Outros prémios Nobel atribuídos a físicos por trabalhos no campo da supercondutividade (Bardeen-Cooper-Schrieffer, 1972, Josephson-Giaver-Esaki, 1973) só foram concedidos após decurso de muito mais tempo sobre a publicação do trabalho (quinze anos num caso, dez no outro).

## I REUNIÃO IBÉRICA DO VAZIO E SUAS APLICAÇÕES

Braga, 28 Setembro — 1 Outubro 1988

Realização da Sociedade Portuguesa  
de Vácuo (SOPORVAC)

### Temas:

*Ciência de Superfícies*

Materiais electrónicos e processos  
Filmes finos

*Ciência de Vazio*

Metalurgia e tratamentos de superfícies  
Fusão. Altas energias

*Vazio Industrial*

Metalização de plásticos.  
Electrónica. Lâmpadas.  
Liofilização. Química farmacêutica

### Informações:

M. Isabel Ferreira  
SOPORVAC  
Lab. Física, Univ. Minho  
4719 Braga Codex

## SAGAMORE IX

Conferência sobre densidades de carga, spin  
e quantidade de movimento

Luso, Buçaco; 26 Junho — 2 Julho 1988

*Do programa científico constarão lições gerais de revisão sobre densidades de carga, de spin e de quantidade de movimento, lições por especialistas convidados e sessões de posters seguidas de discussão geral.*

### Informações:

Sagamore Conference IX  
Dep. de Física, Universidade de Coimbra  
3000 Coimbra  
Tel. (039) 29252-34668  
Telex 52601 DEFIUC P

### Datas-limite:

*Inscrições e alojamento:* 31 Janeiro 1988  
*Resumos:* 31 Março 1988