



Marco e Silva de Melo Távora

**Estados de Vórtices em Supercondutores
Não-Convencionais**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Eduardo Rezende Mucciolo

Rio de Janeiro
Setembro 2002



Marco e Silva de Melo Távora

Estados de Vórtices em Supercondutores Não-Convencionais

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Eduardo Rezende Mucciolo

Orientador

Departamento de Física – PUC-Rio

Prof. Raimundo Rocha dos Santos

Instituto de Física – UFRJ

Prof. Carlos Maurício Giesbrecht Ferreira Chaves

Departamento de Física – PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial de Pós-Graduação

Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 2 de setembro 2002

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marco e Silva de Melo Távora

Graduou-se em Física na PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 2000 e obteve o grau de Mestre em Física também na PUC-Rio em 2002. Sua área de pesquisa foi Matéria Condensada Teórica, especificamente análise das propriedades de materiais supercondutores não-convencionais.

Ficha Catalográfica

Távora, Marco e Silva de Melo

Estados de vórtices em supercondutores não-convencionais / Marco e Silva de Melo Távora; orientador: Eduardo Rezende Mucciolo. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Física, 2002 .

[9], 65 f.:il. ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física.

Inclui referências bibliográficas.

1. Física - Teses. 2. Supercondutores não-convencionais. 3. Simetrias. 4. Vórtices. 5. Pares de Cooper. I. Mucciolo, Eduardo Rezende. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física. III. Título.

CDD: 530

Para meus pais e irmão,
Ney, Ana Luiza e Bruno

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família pelo apoio irrestrito. Gostaria de agradecer especialmente à Patrícia pelo apoio e paciência nos momentos mais complicados.

Ao meu orientador, Prof. Eduardo Mucciolo por ter dividido comigo uma parte de seus vastos conhecimentos. Também aos professores e funcionários do departamento de Física que ajudaram na minha formação.

Finalmente, gostaria de agradecer a CAPES e CNPQ pelo apoio ao longo dos últimos anos.

Resumo

A teoria de Bardeen, Cooper e Schrieffer (BCS) teve enorme sucesso na explicação das propriedades da maior parte dos materiais supercondutores. Esses materiais, onde a teoria BCS se aplica, são denominados supercondutores convencionais. A observação do aparecimento de supercondutividade não-convencional em diversos materiais reabriu as discussões sobre o fenômeno. Enquanto a transição para fase supercondutora em materiais convencionais envolve apenas a quebra da simetria de calibre, no caso dos materiais não-convencionais, a mesma é caracterizada pela quebra de diversas simetrias adicionais. O mecanismo microscópico da supercondutividade nessas novas classes de materiais ainda é uma questão em aberto. No entanto, muitas propriedades físicas podem ser extraídas apenas de considerações sobre as simetrias do parâmetro de ordem supercondutor, que está intimamente ligado à função de onda do par de Cooper. Neste trabalho são analisadas algumas propriedades destes novos supercondutores baseadas em critérios de simetria. Um enfoque especial é dado à classe dos supercondutores não-convencionais onde há quebra de simetria de reversão temporal. Para estes materiais são previstas algumas propriedades bem pouco usuais. Quando a estrutura cristalina tiver alta simetria, é possível o surgimento de uma polarização de spin no condensado. Nestes casos, a magnetização intrínseca pode levar à formação de uma fase espontânea de vórtices. Ocorre também uma forte anisotropia na resposta do supercondutor frente à aplicação de campos magnéticos externos.

Palavras-chave

Supercondutores não-convencionais; simetrias; vórtices; pares de Cooper.

Abstract

The theory of Bardeen, Cooper e Schrieffer (BCS) had great success in explaining most properties of superconducting materials. These materials, where BCS applies, are denominated conventional superconductors. The experimental evidence of unconventional superconductivity in several materials reopened discussions about the phenomenon. While, in conventional materials, the superconducting phase involves only the breaking of gauge symmetry, in the unconventional materials the phase is characterized by several additional broken symmetries. The microscopic mechanism of superconductivity in these new classes of materials is still an open question. However, many physical properties can be understood considering only symmetries of the superconducting order parameter, which is intimately linked to Cooper pair wave function. In this work some properties of these new superconductors are analyzed based on symmetry criteria. Special emphasis is given to the class of unconventional superconductors where time-reversal symmetry is broken. For these materials, some unusual properties are predicted. When the crystal structure has high symmetry, the appearance of a spin polarization in the condensate is possible. In these cases, an intrinsic magnetization can lead to the formation of a spontaneous vortex phase. A strong anisotropic response to an externally applied magnetic field also occurs.

Keywords

Unconventional superconductors; symmetries; vortex; Cooper pairs.

Índice

1	Introdução	11
2	Propriedades Gerais dos Supercondutores	19
2.1	Instabilidade do Estado Normal	19
2.2	Natureza da Função de Onda	21
2.3	Energia de Excitações num Supercondutor	25
2.4	Propriedades de Supercondutores	34
3	Simetrias do Estado Supercondutor	38
4	Aplicação da Teoria de Landau para Supercondutores	48
4.1	Propriedades Gerais	48
4.2	Estados Supercondutores em Cristais	52
5	Análise de Vórtices	54
6	Conclusões	62
A	Estados de Vórtices em Supercondutores Convencionais	66
A.1	Análise GL	69
B	Simetrias	72
B.1	Introdução	72
B.2	Representações de um grupo	73
B.3	Equivalência e Redutibilidade de Representações	73
B.4	Simetrias em Mecânica Quântica	74
B.5	Grupos Pontuais	76
C	Tópicos	78
C.1	Interação RKKY	78

C.2 Hélio Superfluido 3	78
C.3 Susceptibilidade Paramagnética em Supercondutores	81
D Tabela - Grupo D_{4h}	83
Bibliografia	84

Lista de Figuras

1.1	Diagrama de fase esquemático do supercondutor ferromagnético UGe_2	18
5.1	Diagramas esquemático de fase HT para um supercondutor do tipo tripleto para diversos valores dos parâmetros de Ginzburg-Landau. Em (a) é mostrado o caso em que o acoplamento Zeeman é fraco ($g < K$), não havendo geração espontânea de vórtices. O diagrama (c) corresponde ao caso onde há geração espontânea de vórtices [$g > \ln\left(\frac{\lambda}{\xi}\right)$]. O diagrama (b) corresponde ao caso intermediário, onde há supercondutividade para temperaturas além de T_c mas não há geração espontânea de vórtices [$K < g < \ln\left(\frac{\lambda}{\xi}\right)$].	61
A.1	Estrutura de um vórtice isolado. Na parte superior é mostrado o perfil radial da amplitude do campo de indução, enquanto que na parte inferior está indicado a magnitude do parâmetro de ordem do supercondutor.	67