

ルテニウム超伝導における異常なドップラー効果

名古屋大学 工学研究科 田仲 由喜夫¹

1 はじめに

Sr₂RuO₄ の超伝導体が発見されて以来、精力的な研究がわが国（特に京都大学理学部前野グループ）で展開されて、対称性はトリプレットであることがかなり有力となってきた。当初 2 次元的なフェルミ面でラインノードのない $p_x + ip_y$ 的対称性が提案されてきたが、最近の比熱の実験あるいは NMR の実験と単純には相容れない [1]。そこで水平ノードモデル あるいは Vertical ノードモデルなどが提案されている。特に熱伝導の実験で磁場を ab 面内に水平にかけたときに 4 回対称性（磁場の回転に対して）がはっきりと観測されていないために水平ノードモデルが有力ではないかといわれている [2]。しかし一方で Sr₂RuO₄ は強い 2 次元性をもつ物質で水平ノードを作り出す面間のペアリングは考えにくい。一方理論的には野村、山田による高次の摂動計算に基づいて 2 次元的な γ バンドにギャップが形成され 1 次元的なバンド β バンドにノード的な構造を作ることが予想されている [3]。同様なギャップ構造は 2 つの 1 次元バンドをとりいれた FLEX 計算でも示されている [4]。これらの Vertical ノードモデルは低エネルギーのノード構造に寄与するのは 2 つの 1 次元バンドに限定されるのでそれらの 2 つの 1 次元バンドの効果を取りいれて磁場下における局所状態密度 (DOS) と熱伝導度の計算を行った。

2 計算結果

我々は 2 つのバンドをとりこむことで磁場が存在する条件下でボゴリューボフ方程式を解き DOS を計算した。今磁場は ab 面に平行にかけられているとして磁場を面内で回転させた。ノードの方向は (110) 方向を向いている。 d_{zz} 軌道と d_{yz} 軌道が hybridize して $\alpha\beta$ の 2 つのバンドを作るが hybridization の大きさはきわめて小さい。まずこの 2 つのバンドの hybridization が存在しないときにとても奇妙なことがおこる。状態密度は磁場の角度の関数としてみたとき、磁場をノードの方向にかけたときに極大値を示す。一方 hybridization が十分に大きくなると状況は逆転して磁場をノードの方向にかけたときに極小値を示し従来から知られているドップラー効果の常識と整合した結果となる [5]。この変化は以下の図 1 を用いて説明される。hybridization の大きさが十分に小さい時には、図の (a1)(a2) の場合を考える。ドップラー効果により DOS に寄与できるフェルミ面はノードの近くであ

¹E-mail: ytanaka@nuap.nagoya-u.ac.jp

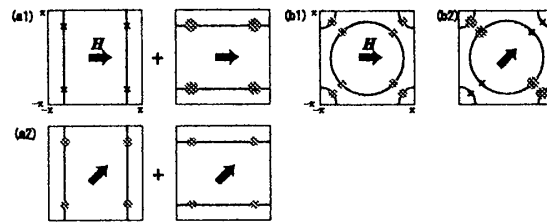


図 1: 状態密度に寄与できる領域 hybridization は存在しない場合。(a1) antinodal 方向、(a2) nodal 方向。 hybridization が強い場合。(b1) antinodal 方向、(b2) nodal 方向。

る。hybridization が零の極限では 2 つの 1 次元的フェルミ面が独立に DOS に寄与する。まず磁場がノードと 45 度傾いた方向にかけられた図 1(a) の左側の状況ではフェルミ速度と磁場が平行なためにドップラー効果はないのに対して、右側では 4 つのノードが DOS に寄与できる。これに対して図 a(2) に示したように磁場をノード方向にかけた場合は図 2(a) の左側でも右側でもすべてのノード (8 つ) が DOS に寄与できる。ただし強度は $\sqrt{2}$ 倍小さくなる。その結果、ノード方向にかけたほうがドップラー効果が強く効いて DOS は大きくなる。これに対して hybridization が十分に大きくなると DOS に寄与するノードは磁場をノード方向にかけたときは 4、45 度傾けたときは 8 あるが強度は $\sqrt{2}$ 倍小さくなる。その結果、ノード方向にかけたほうがドップラー効果が弱く効いて DOS は小さくなる。また熱伝導度の磁場方向に対する依存性もこの 1 次元から 2 次元に交叉するとき大きな変化がみられ 4 回対称性は非常に弱められる。我々の計算に基づけば、熱伝導度の実験が Vertical ノードモデルを排除するとは決していえないと思われる。また軌道の効果を考慮にいけない準古典近似の従来の解析でノードの位置を決定するのは非常に危険であるともいえる。この研究は電気通信大学黒木和彦氏、神奈川大学田沼慶忠氏、産総研柏谷聡氏との共同研究である。[6]

参考文献

- [1] S. Nishizaki, Y. Maeno and Z. Q. Mao, J. Phys. Soc. Jpn. **69** 572 (2000).
- [2] K. Izawa *et al.* Phys. Rev. Lett. **86** 2653 (2001).
- [3] T. Nomura and K. Yamada, J. Phys. Soc. Jpn. **69**, 3678 (2002); J. Phys. Soc. Jpn. **69**, 404 (2002).
- [4] K. Kuroki, M. Ogata, R. Arita, and H. Aoki, Phys. Rev. B **63**, 060506 (2002).
- [5] K. Maki, G.L. Yang, and H. Won, Physica C **341-348** [2000] 1647.
- [6] Y. Tanuma, *et al.*, Phys. Rev. B **60** 174502 (2002); Y. Tanaka *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **66** 094507 (2002).