

パウリ常磁性をもたらす新奇超伝導状態

京大院理

池田隆介

近年、新たなタイプの磁場下の超伝導相が次々に発見（あるいは、予言）され、超伝導研究が面白い時期にきている。しかも、それら新奇超伝導相の多くがパウリ常磁性効果の影響を受けた渦糸状態である。例を挙げれば、1) 重い電子系 CeCoIn_5 における不連続対破壊 (H_{c2}) 転移 [1,2]、ある種の Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov (FFLO) 相の出現 [3,2]、及び奇妙な格子構造転移 [4]、2) 有機超伝導体における（様々な）FFLO 相の出現 [5,6]、3) 空間反転対称性のない系で期待される変調渦糸相の可能性 [7,8]、である。

FFLO 状態という空間変調相は、空間変調により常磁性対破壊から「部分的に」逃れて転移磁場を上げることにより出現する。この状態の実現に適した3次元系が、渦の存在の影響を受けにくい、層に平行な十分高い磁場下の準2次元層状超伝導体で、その理由で有機超伝導体がしばしば研究された。これらの系では磁場に垂直、かつ層に平行な変調をもった FFLO 状態の実現が通常期待され、低温で顕著な H_{c2} の増大が期待される [5]。ところが、 CeCoIn_5 で実現している FFLO 状態は、その超音波実験データの考察 [5,9] などから、磁場方向に変調した渦糸格子であると考えられている。この FFLO 状態の構造と相図との関係について議論する。

パウリ常磁性により空間変調を持った超伝導は、空間反転対称性の破れた超伝導体においても実現している。これらの系での主な関心事は、スピン1重項(s)、3重項(t)対状態の混成(共存)がもたらす新たな現象と、異方的なパウリ常磁性効果による新たな磁場中超伝導(渦糸)状態、であるが、その磁場下の超伝導状態の研究はこれまで単一の対状態のみを仮定した場合に限られていた。その場合、スピン軌道相互作用が Rashba 型の場合は、超伝導秩序パラメータ Δ は2つのフェルミ面上の状態密度の差 δN に起因する振幅の空間変調を平行磁場下 ($H \parallel ab$) では示す [7] が、 δN は小さいためこの変調によるパウリ常磁性対破壊の減退 (H_{c2} の上昇) はごくわずかである。これに該当する系が CeRhSi_3 , CeIrSi_3 である。 CePtSi_3 などのように $H \parallel c$, $H \parallel ab$ での H_{c2} の間の異方性の小さい系はむしろ例外的に見える。そこで、s-t 混成を考慮した場合、空間変調により常磁性効果を「ほぼ完全」に逃れて軌道極限に近い、高い H_{c2} を持った状況が容易に実現されることを示す [8]。この結果は、 CePtSi_3 の H_{c2} に異方性がほぼないことや、 $\text{Li}_2\text{Pt}_{3-x}\text{Pd}_x\text{B}$ 族の $H_{c2}(T)$ の x 依存性などに直接関係してくるはずである。

[1] K.Izawa et al., PRL 87, 057002 (2001).

[2] H.Adachi and R.Ikeda, PRB 68, 184510 (2003).

[3] A. Bianchi et al., PRL 91, 187004 (2003); R.Ikeda, PRB 76, 134504 (2007).

[4] A. Bianchi et al., Science 319, 177 (2008); N.Hiasa and R.Ikeda, PRL 101, 027001 (2008).

[5] As a review, 安立裕人、池田隆介：固体物理 (No.11, 2007) .

[6] R.Ikeda and Nawata, arXiv:0708.2137 (未投稿).

[7] Y. Matsunaga and R.Ikeda, arXiv:0801.0682 (投稿中).

[8] N.Hiasa and R.Ikeda, in preparation.

[9] T. Watanabe et al., PRB 70, 020506(R) (2004).