

FFLO と渦糸状態における常磁性効果と電子状態

岡山大学 大学院自然科学研究科 市岡 優典

重い電子系超伝導体などにおいては、磁場中の超伝導物性を解析する上で常磁性効果が重要な役割を果たしており、特に Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov(FFLO)状態が現れる CeCoIn_5 においては常磁性効果の影響が顕著であると考えられている。また、フェルミ粒子の冷却原子気体における超伝導状態においてもクーパー対を組む $\uparrow$ スピン原子と $\downarrow$ スピン原子の粒子数が不均衡である場合には、常磁性効果による現象が顕著に現れる。

我々は、これら電子系と原子系の超伝導状態を対比的に扱い、FFLO 状態と渦糸状態における常磁性効果について微視的理論の立場から研究を進めている。このため、FFLO 変調の節面が渦糸線と垂直な方向にある場合において、準古典 Eilenberger 理論[1]または Bogoliubov-de Gennes 理論[2]により、超伝導秩序オーダーパラメーターや常磁性モーメント、それに準粒子状態の空間構造の計算を行なった。渦糸や FFLO 節面は、それらを通る経路で見ると超伝導秩序パラメーターが符号反転する箇所である。このため、準粒子スペクトルに「ゼロエネルギー束縛状態」のピーク状態が現れるが、 $\downarrow$ スピンのピーク状態と $\uparrow$ スピンのピーク状態がゼーマン効果によりフェルミエネルギーの上下に分裂して現れる。この準粒子スペクトルの構造により、渦芯やFFLO 節面において、常磁性モーメントが大きく現れることが理解できる。

また、FFLO 相より低磁場の通常の渦糸相の物性の理解においても、常磁性対破壊や渦芯での常磁性モーメントの増大など常磁性効果は重要である。そのため、FFLO 変調のない渦糸状態について、渦糸状態における物理量の磁場依存性を定量的評価して、常磁性効果の影響を考察した[3]。その中で渦芯での常磁性モーメントの効果については、中性子小角散乱強度から得られる渦格子の構造因子の異常な磁場依存性に反映して現れることがわかった。

冷却原子気体においては粒子数不均衡がフェルミ面のゼーマン分裂による常磁性効果を引き起こし、渦は系の回転により導入されるので、渦と常磁性効果は分けて考えることができる。冷却原子気体ではトラップの調和振動子型ポテンシャルがあるので、中心部分は超伝導状態で、外側領域は超伝導でなく常磁性分極した状態と相分離的な空間構造となるが、この境界領域にFFLOの変調構造が現れる[4,5]。また、冷却原子系においては渦芯で粒子数が減少することを通して量子渦が観察される。粒子数不均衡系における渦芯での粒子数減少と常磁性モーメントの表れ方の様子は、渦芯での準粒子スペクトル構造と関係がある。この関係より、超伝導の弱結合から強結合への移り変りによる渦芯構造の変化を理解でき[6]、また、巻き数が2以上の場合にも適用して議論できる[7]。

なお、本研究は町田一成、水島健、安立裕人、高橋雅裕、鈴木健太らとの共同研究である。

- [1] M. Ichioka, H. Adachi, T. Mizushima, and K. Machida, *Phys. Rev. B* **76** (2007) 014503.
- [2] T. Mizushima, K. Machida and M. Ichioka, *Phys. Rev. Lett.* **94** (2005) 060404; *ibid* 117003.
- [3] M. Ichioka and K. Machida, *Phys. Rev. B* **76** (2007) 064502.
- [4] K. Machida, T. Mizushima, and M. Ichioka, *Phys. Rev. Lett.* **97** (2006) 120407.
- [5] T. Mizushima, M. Ichioka, and K. Machida, *J. Phys. Soc. Jpn.* **76** (2007) 104006.
- [6] M. Takahashi, T. Mizushima, M. Ichioka, and K. Machida, *Phys. Rev. Lett.* **97** (2006) 180407.
- [7] K. M. Suzuki, T. Mizushima, M. Ichioka, and K. Machida, *Phys. Rev. A* **77** (2008) 063617.