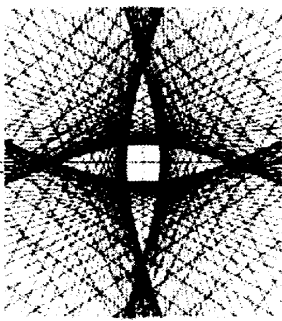


## Andreev 束縛状態と渦糸

加藤 雄介

東京大学総合文化研究科

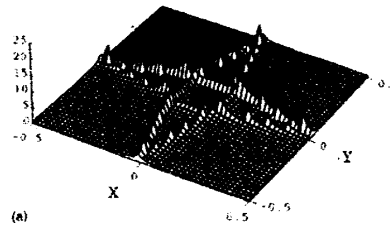
Andreev 束縛状態(Andreev 1964)は、超伝導接合系、界面、不純物など、超伝導・超流動不均一系における低エネルギー物性を決める要因になる。一方で同じ不均一系でも、等方的 S 波超伝導体の場合、渦糸まわりの低エネルギー励起は Caroli-deGennes-Matricon モード(Caroli et al. 1964)と呼ばれる回転束縛状態が低エネルギー準粒子励起になる。しかしたいの超伝導体で成立している準古典条件(フェルミ波長に比べて、コヒーレンス長はずっと長い)の下では、Caroli-deGennes-Matricon モードは、Andreev 束縛状態の重ね合わせとみなすことができる。またその描像に基づいて異方的バンド構造、異方的なペアポテンシャルを持つ超伝導体の渦糸まわりの低エネルギー構造を、理解することができる。渦糸状態は、やや複雑な超流動・超伝導不均一系ではあるが、Andreev 束縛状態という切り口で、他の不均一系と同様に理解できる側面を持っていることをお伝えしたい。なお本講演で扱うのは孤立した一本の渦糸である。



等エネルギーの束縛状態の曲線群[1]



曲線群の包絡線[1]



Eilenberger 方程式による数値解  
(Schopohl and Maki(1995),  
Ichioka et al(1996))

準古典条件が成立するとき、フェルミ面の各点に対応する準粒子の運動方程式を独立に解くことができる。その運動方程式(Eilenberger 方程式)は、低エネルギー、かつ渦糸近傍でアンドレーエフ束縛状態に対応する厳密解をもつ(Kramer-Pesch 1974, Eschrig 1997)。渦糸まわりで、エネルギーを固定したときの束縛状態は、フェルミ面の各点に対応した群速度方向に走る直線上に局在し、渦糸中心からの距離(衝突パラメータ)は、超伝導ギャップの異方性で決まる。上左図は、エネルギーを固定したとき、d 波超伝導体の渦糸まわりのアンドレーエフ束縛状態の存在する直線群を表す。これらの束縛状態の与える状態密度は、直線群の包絡線(上中図)で与えられる。この解析解の結果は、上右図に与えた、Eilenberger 方程式の数値解の結果をほぼ再現している。等方的 S 波超伝導体はもちろん、NbSe<sub>2</sub> をモデル化した異方的 S 波超伝導体でも同様の結果が得られている[1]。この解析は電子構造計算によって得られたバンド構造を取り込むことも適用可能であり、ボロカーバイド超伝導体渦糸状態密度の実験結果[2]の解釈にも用いられている[3]。

本講演で紹介する内容は、林伸彦(原研)、永井佑紀(東大理・理研)、植野洋介(東大物工; 現ソニー)、山内邦彦(CNR-INFM)、播磨尚朝(神戸大)、Manfred Sigrist(ETH)各氏との共同研究の成果である。

### 参考文献

- [1] Y. Nagai, Y. Ueno, Y. Kato and N. Hayashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **75** (2006) 104701.
- [2] H. Nishimori, K. Uchiyama, S. Kaneko, A. Tokura, H. Takeya, K. Hirata and N. Nishida, *J. Phys. Soc. Jpn.* **73** (2004) 3247.
- [3] Y. Nagai, Y. Kato, N. Hayashi, K. Yamauchi and H. Harima, *Phys. Rev B* **76** (2007) 214514.