

Fully gapped pairing state in spin-triplet superconductor UTe₂ (2023)

著者: S. Suetsugu 京都大学理学研究科

アブスト

スピン三重項超伝導体は、マヨラナ準粒子を伴うトポロジカル超伝導性を実現するための理想的なプラットフォームを提供する。最近発見された超伝導体UTe₂が有力候補の一つですが、超伝導秩序パラメータの対称性が熱心に議論されている。ここでは、超純粋UTe₂単結晶の熱伝導率によって超伝導ギャップ構造を決定する。我々は、温度がゼロの限界でのa軸熱伝導率を温度で割った κ/T が、磁場 $H||a$ および $H||c$ 軸に対して $H/H_{c2} \sim 0.2$ まで極めて小さいことを見出した。これは、以前の信念とは反対に、a軸周りにどのタイプのノードも存在しないことを示している。現在の結果は、超伝導状態でのNMRナイトシフトの減少と組み合わせられ、超伝導秩序パラメータがフルギャップのペアリング状態を持つ等方的なAu表現に属することを示している。これは、超流動³HeのB相に類似しています。これらの発見は、UTe₂が任意の結晶面に螺旋状のマヨラナ表面状態をホストする、3次元(3D)の巻数によって特徴づけられる3D強トポロジカル超伝導体である可能性が高いことを明らかにする。

問題意識

- UTe₂のギャップ構造はいまだによくわかっていない。サンプルの質の向上とともに見解が変わる。
- 考えられる対称性はAu, B1u, B2u, B3uである。後ろ3津はそれぞれc軸、b軸、a軸に沿ったフェルミ面上の孤立点にポイントノードを持つ。
- B1u, B2u対称性はナイトシフトの分析により排除されている。かといってB3uが有力化といえ、低エネルギー準粒子励起が不純物に敏感であるために、結論付けるのは尚早。
- ギャップのトポロジカルな特性はAuとB3uでかなり異なるため、どのギャップが出現しているかをきちんと確認することが重要。

方法

- フラックス法でUTe₂の結晶を二つ作る。それぞれ適度にきれいなサンプル1と、さらにきれいなサンプル2。
- 抵抗率、比熱、熱伝導度を測定。

結果

- 抵抗率測定では、normal stateでフェルミ流体的なふるまいが見える。残余抵抗率比(RRR)の異なる結晶を比較する。
- 比熱は T_c で特異的。ピークの分裂はない。
- κ/T にみられる差は、準粒子の平均自由行程の差を示唆している。

ラインノードの不在

- ラインノードが存在する場合残余熱伝導率が有限になるが、今回は不在。つまりラインノードはなし。

ポイントノードの不在

- 磁場をかけた時の $\kappa(H)/T$ のふるまいは、フルギャップの場合とポイントノードの場合でかなり異なるので、それを測定して対称性を判断してみる。
- a軸方向に磁場を印加する。サンプル2の κ/T は $H \sim 0.12H_{c2}$ まで、 $\kappa_0 N/T$ （正常状態のそれ）に対してわずかしか変動しない。つまり渦状態の内部でも、normal stateの場合と比べて非局在化準粒子がほとんど励起されない。これはa軸まわりのポイントノードが存在しないことを意味している。

まとめ

- a軸にそったポイントノードを持つB3uは除外される。先行研究でB1u, B2uが排除されているので、UTe2のオーダーパラメータはAu,つまりフルギャップであると結論づけられる。
- UTe2では準粒子励起に対する不純物の影響がかなり顕著。

感想

- 先日周期アンダーソンに対してエリアシュベルグ方程式を解いてB3uが最安定で出るといった結果が報告されていた手前、さまざまなギャップの対称性が提案されていてどれを信じてよいものかわからなくなってきた。