

Anomalous vortex dynamics in the spin-triplet superconductor UTe₂

アブスト

超伝導体UTe₂における渦動力学について、b軸方向の磁場下でa軸方向に電流を流すことによる直流電気抵抗の測定によって研究された。驚くべきことに、超伝導（SC）状態の内部、特にSCの上限臨界場よりもはるかに低い位置に、臨界電流が低い島の領域が発見された。これは渦の固定の弱化に起因するとされる。特筆すべきは、この領域が最近提案された中間場SC状態と一致していることである。我々は中間状態における非特異渦の可能性について議論し、そこではSCの秩序パラメーターが渦核内で完全には消失せず、複数のSC成分の混合によって生じる。

イントロ

- 非従来型超伝導は非従来型の渦状態も引き起こす。例えば非従来型超伝導体では、超伝導遷移と渦格子形成が別々に生じる（普通は同時）ことがある。T_cと渦格子形成の間の領域はvortex liquidとして知られる。なおURu₂Si₂とUCoGeはvortex liquidの領域が異常に広い。
- 複数の超伝導状態を持つスピントリプレット超伝導体UTe₂の渦のダイナミクスはどうなっているかわかっていない。
- UTe₂は3つの超伝導相があり、中間磁場相(IFSC)および低磁場(LFSC)および(HFSC)が存在する。
- 本論文では、超クリーンな単結晶を使って、UTe₂の複数のSc状態での渦のダイナミクスを調べる。

実験

- UTe₂の結晶を溶融塩フラックス法で成長させ、以下の実験を行う。
- 大きさの異なる2種類の電流を流し(6mAの電流と2mAの電流)、その抵抗値を見ることで、複数のSC状態での量子渦ダイナミクスを研究する。

結果

- 図1: 磁場印加すると、超伝導遷移の温度領域が広がる。ところで、特に6mAの時の挙動が特徴的であるが、0.8K以下でノンゼロの抵抗が復活する。これは、外場16Tの時T_c以下では渦が固体を形成するものの、0.8K以下で流れ始めることを示している。2mAでは、渦は0.45Kまで固体のまま。
- 図2: 3つの相境界が現れ、これは先行研究と大体一致する（補足参照）IFSCで ρ_{6mA} が有限ということは、臨界電流がその領域で低くなっていることを表す。なお ρ_{2mA} はずっとゼロである。
- 超伝導の深部に低臨界電流領域があるのは、渦の固定の弱化によるものではないか。
- 18Tで ρ_{6mA} と ρ_{2mA} の差がゼロになり、これが低・高磁場領域の分割部分になっている。
- IFSC領域でのE-j特性もみた(図4)。有限のEを誘導するための臨界電流密度がB=20Tの部分でははるかに大きい。また $j = 2 \times 10^5 \text{ A/m}^2$ を超えると減少して、ほぼE = 0になる。これは移動しにくい渦があるjで突然流れ出して、渦の固定から解放されることを示している。

議論

- 超伝導状態の内部における固定力の弱まり（つまり量子渦ダイナミクス）については、IFSCの特性から生じる可能性がある。SCギャップ構造の変化によって、渦と不純物、欠陥との相互作用が変わり、したがって固定力に変化をもたらすのではないか。

- UPt₃の超伝導状態についての議論はすでに存在する。つまり、SCギャップの異方性が渦芯と格子構造の両方に影響を及ぼすことは示されている。
- コアレスな渦ができる？これはスピン軌道相互作用によって安定化されると示唆されている。

結論

- 温度が低下するにつれて臨界電流が減少することは、渦の固定力が弱くなることに起因するかもしれない。さらに固定力の弱化はSCギャップ構造の変化に関連しているかもしれない。
- スピントリプレット超伝導体における異常な渦状態の理解には、さらなる研究が必要。

補足

- 高磁場領域でのT_cは磁場の角度に非常に敏感だが、LFSCのそれはあまり敏感ではない。