

# Periodic Anderson model for magnetism and superconductivity in UTe<sub>2</sub>

- 京都大学の柳瀬先生

## アブスト

我々は、トポロジカルスピントリプレット超伝導体の候補として最近発見されたUTe<sub>2</sub>における磁性と超伝導性を研究するための周期的アンダーソンモデルを提供し、分析する。24バンドのタイトバインディングモデルは、DFT + U計算から得られるバンド構造を再現し、角度分解光電子分光法と一致している。f電子のクーロン相互作用はa軸に沿ったイジング型強磁性フラクチュエーションを増強し、B3uまたはAu対称性のスピントリプレット超伝導を安定させる。ホッピング積分において圧力の効果を考慮すると、磁性揺らぎは反強磁性に変化し、それに応じてAg対称性のスピンスングレット超伝導が安定される。これらの結果に基づき、我々は、複数の超伝導相および反強磁性相を明らかにする圧力-温度および磁場-温度の相図を提案する。特に、自発的な反転対称性の破れを伴う混合パリティ超伝導状態が予測される。

## UTe<sub>2</sub>の特徴

- 磁場のリエントラント超伝導
- パウリリミットを超える非常に大きな臨界磁場
- 強磁性揺らぎ
- $T_c$ 以下でほとんど温度依存しないNMRナイトシフト

## イントロ

- UTe<sub>2</sub>の特徴として、パウリリミットを超える上部臨界磁場、磁気揺らぎ、リエントラント超伝導、ほとんど変化しないナイトシフト、がある。
- 圧力下での複数の超伝導相の存在も面白い。磁場を印加することで、圧力下だけでなく、常圧でも複数の超伝導相が誘起される。ことになる。
- ペアリング対称性に関する議論は未決着である。

## モデル

- 24バンド周期的アンダーソンモデルを作成。フェルミ面を構築するのはU 5f, U 6d, Te 5pの移動。
- ウラン原子は局所サイト対称性を持つ梯子構造を形成するため、反対の結合定数をもつラシュバ型sASOCが現れる。
- 圧力の効果はホッピング積分の増強係数 $p$ を導入することで再現される。
- 5p電子と6d電子の伝導方向は直行しており、準2次元の矩形フェルミ面が形成される。 $p = 1.0$ の場合はX点付近で大きな軌道成分が見られるが、圧力によって係数 $p$ を増加させるとフェルミ面状の軌道特性が変化する。しかしフェルミ面の変化はわずか。

## 磁気揺らぎ

- f電子のクーロン相互作用に対してRPAを適用。f電子の感受性の行列から計算される対角的磁気感受率、 $\chi_a, \chi_b, \chi_c$ の運動量依存性を計算。

- $p = 1.0$ 場合は、 $a$ 軸に沿ったイジング異方性を持つ強磁性揺らぎが見られる。これは常圧での実験結果と良い一致を示している。一方 $p$ が増加するにつれて強磁性揺らぎは徐々に反強磁性の揺らぎに変化する。これは軌道特性の変化に起因している。なお異方性は圧力印加により減少する。

## 超伝導特性

- $D_{2h}$ 点群対称性では、超伝導の秩序パラメータは8つの既約表現のいずれかに分類される。この8つの既約表現に対して線形化エリアシュベルグ方程式を解き、最安定な超伝導状態が何かを決定する。  
 $p = 1.0$ では $B_{3u}$ のペアリング状態が最も安定であることが分かる。 $p = 1.5, 2.0$ では、不整合の磁気揺らぎによって $A_u$ 対称性を持つ別のスピントリプレットが安定する。なお $p$ を増加させると最終的に $A_g$ 状態が優勢になる。常圧での $UTe_2$ の奇パリティスピントリプレット超伝導を予測するだけでなく、圧力下でスピンシングレット超伝導が出ることも示唆される。

## 複数の超伝導相

- 圧力印加の下で奇パリティ $B_{3u}$ または $A_u$ から偶パリティ $A_g$ への超伝導遷移が考えられる。これは磁気揺らぎが強磁性から反強磁性にクロスオーバーするのとは一致する。
- 二つの状態の転移温度が互いに近いと、共存相も自然に予想される。
- 一軸方向での磁場下での超伝導相では、 $B_{3u}$ と $A_u$ の表現が同じ表現に還元されるため、 $A_u + B_{3u}$ 状態が可能。

## 結論

- 24バンド周期的アンダーソンモデルを構築する。強磁性揺らぎだけでなく、圧力下での反強磁性揺らぎも議論できる。
- $B_{3u}$ または $A_u$ 表現でのスピントリプレット超伝導性は強磁性揺らぎによって安定化され、 $A_g$ 表現のスピンシングレット超伝導は反強磁性揺らぎによって好まれる。