

エキゾチック超伝導体における不純物効果

～スピン三重項超伝導の候補物質を例にして～

A 理学研究科 物質科学専攻, B 量子科学技術研究開発機構, C 山口東京理科大学

ど い こう き は る な し ん ご の む ら た く じ か ね や す ひ ろ の
© D1 土井 洸輝^A、D2 春名 信吾^A、准教授 野村 拓司^{A,B}、准教授 兼安 洋乃^{A,C}

キーワード

超伝導、不純物効果、f 電子系、物性理論、
スーパーコンピュータ



研究概要

従来の BCS 理論の枠組みでは説明できないスピン三重項超伝導体や高温超伝導体といったエキゾチックな超伝導体に関する研究は、物性物理の中心的な課題として進められています。本研究では、スピン三重項超伝導体の候補物質である UTe_2 に着目し、不純物効果に関する理論解析を行いました。(図 1) 一般に、超伝導の多くは全スピンのゼロのスピン一重項対を形成しますが、スピンの向きが互いに揃った全スピン 1 のスピン三重項対をもつ超伝導体は極めて稀です。この物質の超伝導状態を探るため、不純物効果が調べられており、 UTe_2 ではウラン(U)原子の欠損が不純物として機能して、超伝導転移温度を下げることで実験から示されています。その特性を正確に理解するには、 UTe_2 の f,d,p 電子が混成した多バンドの電子状態や不純物となる原子サイトやその磁気的特性を考慮する必要があります。本研究では、不純物効果の理論を多バンド系に拡張して、超伝導方程式をスーパーコンピュータで解析することで超伝導転移温度の不純物濃度依存性を調べました。その結果、U サイトの欠損が非磁性不純物として働く場合では、スピン三重項状態が最も超伝導転移温度を下げることを確認しました。(図 2) 一方、不純物が磁気的性質を持つ場合には、スピン三重項状態だけでなく一重項状態の転移温度も下がりました。この理論結果により、不純物効果の実験から超伝導対称性を特定する際には、U 原子欠陥が不純物として非磁性と磁性のどちらの役割を担うかを考慮して判定することが重要であることを示しました。

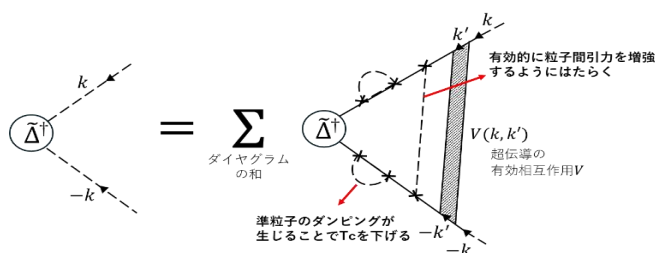


図 1 超伝導体における不純物効果

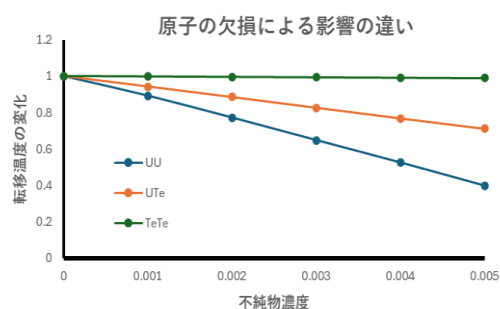


図 2 スピン三重項状態での解析結果

アピール ポイント

スピン三重項超伝導はスピンと軌道の自由度を持つ量子状態であることから、量子コンピュータへの応用が期待されています。このことから、スピン三重項の物質開発は技術革新に繋がる研究です。私はスーパーコンピュータによる超伝導物性の数値解析から電子状態と超伝導機構の関係を明らかにし、新たなスピン三重項超伝導体の探索指針を見出すことを目指しています。また、 UTe_2 を対象として開発したサイト選択可能な不純物効果の理論は、Ni 酸化物などの高温超伝導体にも応用が可能で、多様な化合物の超伝導物性を調べることが出来ます。