



Title	Unconventional Effect of Non-magnetic Impurities on Superconductivity
Author(s)	岡田, 明久
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58257
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文審査の結果の要旨

不純物が超伝導状態に与える影響を研究することは、超伝導状態の本来の性質を明らかにする有用な手段である。本論文では、スピン3重項超伝導体 Sr_2RuO_4 の超伝導転移温度に関する同位体効果の不純物濃度依存性、および、重い電子系超伝導体 $\text{CeCu}_2(\text{Si, Ge})_2$ などを念頭に、長距離ポテンシャルを持つ不純物に対する超伝導転移温度の不純物濃度依存性の研究が成された。

(1) 同位体効果の不純物濃度依存性
 Sr_2RuO_4 の超伝導状態に対して、酸素 ^{16}O を同位体 ^{17}O で置き換える同位体効果の実験が行われ、不純物が少ない試料においては超伝導転移温度が増大する(逆同位体効果)が、不純物がある程度導入された系では超伝導転移温度が減少する(正常同位体効果)という、従来の理論では予想されなかった不純物による同位体効果係数の符号反転が報告されている。本論文では、非調和ポテンシャル下での酸素原子の零点振動を通して飛び移り積分が同位体効果をもち、電子間クーロン相互作用を起源とする超伝導において転移温度を上昇させる逆同位体効果が現れることが示された。また、その効果により、不純物導入による同位体効果係数の符号反転という異常な振る舞いを起こすことが示され、 Sr_2RuO_4 の異常な同位体効果の全体像が理論的に解明された。

(2) 超伝導転移温度に対する長距離ポテンシャルを持つ不純物の濃度依存性
 $\text{CeCu}_2(\text{Si, Ge})_2$ に加圧すると、特定の圧力の近傍で、臨界価数揺らぎによりギャップにラインノードをもつ転移温度の比較的高い異方的超伝導が発現すること、また、価数揺らぎの繰り込み効果によって不純物ポテンシャルが長距離的になり、不純物散乱が増大することが実験的にも理論的にも明らかにされている。通常、そのような異方的超伝導は不純物散乱に弱いことが知られているため、この一見相反する二つの特徴がどのような機構により両立し得るのかが発明されるべき課題であった。本論文では、長距離ポテンシャルを持つ不純物の濃度に対する様々なタイプの超伝導転移温度の振る舞いが微視的理論から調べられた。その結果、異方的超伝導状態においても、長距離不純物ポテンシャルには多くの異方的散乱が含まれるため、クーパー対の感受率が自己エネルギーによる減少する効果がバーテックス補正により部分的に相殺されることが明らかにされた。即ち、臨界価数揺らぎが発達した系での異方的超伝導は従来の理論から予想されるよりも不純物に対して鈍感なことが明らかにされた。これは上記課題への答えを与えたと言える。また、等方的超伝導に対しても不純物が転移温度を顕著に減少させるとも合わせて示された。これは、等方的超伝導体における黄金則であるアンダーソンの定理が破綻していることを意味する。

以上の研究は、超伝導における不純物効果に関して新しい視点を提供するものであり、その学術的にその意義が大きく、博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。

論文内容の要旨

不純物が超伝導状態に与える影響を研究することは、超伝導状態の本来の性質を明らかにする有用な手段である。本論文では、同位体効果の不純物濃度依存性、長距離ポテンシャルを持つ不純物に対する超伝導転移温度の不純物濃度依存性を研究した。

(1) 同位体効果の不純物濃度依存性
 Sr_2RuO_4 の超伝導状態に対して、酸素を重い同位体で置き換える同位体効果の実験が行われ、不純物が少ない試料において超伝導転移温度が増大する一方、不純物が導入された系では超伝導転移温度が減少するという、従来の理論では予想されなかった不純物による同位体効果係数の符号反転が起こった。
本論文では、非調和ポテンシャル下での酸素原子の零点振動を通して飛び移り積分が同位体効果をもち、電子間相互作用を起源とする超伝導でも転移温度を上昇させる同位体効果が現れることを明らかにした。また、その効果が、不純物導入による同位体効果係数の符号反転という異常な振る舞いを起こすことを理論的に解明した。

(2) 超伝導転移温度に対する長距離ポテンシャルを持つ不純物の濃度依存性
臨界価数揺らぎにより異方的超伝導が発現すること、また、その揺らぎの繰り込み効果によって不純物ポテンシャルが長距離的になり、不純物散乱が増大することが理論的に明らかにされている。通常、異方的超伝導は不純物散乱に弱いことが知られているため、この二つの特徴が両立するのか興味が持たれる。
そこで、長距離ポテンシャルを持つ不純物の濃度に対する様々な型の超伝導転移温度の振る舞いを微視的理論から研究した。その結果、長距離不純物ポテンシャルには多くの異方的散乱が含まれるため、対の感受率の自己エネルギー一部分がバーテックス部分により部分的に相殺されることが明らかにされた。そして、等方的超伝導に対して不純物が導入されてもその転移温度が変化しないというアンダーソンの定理が破れることを明らかにした。また、異方的超伝導は従来の理論から予想されるよりも不純物に対して強いことが明らかにされた。このことから、臨界価数揺らぎが発達した系では超伝導状態と不純物散乱の増大は両立できることが明らかにされた。