

超伝導の内部で不思議な磁気秩序を発見

要旨

東北大学金属材料研究所の青木大教授と CEA-Grenoble(フランス原子力庁)の S. Raymond 研究者らの研究グループは、希土類元素を含む重い電子系化合物において、超伝導の内部で奇妙な磁気秩序を発見しました。「Q 相」と呼ばれる特殊な磁気秩序状態であり、異方的な超伝導ギャップと深い関わりがあることが分かりました。磁性が絡んだ超伝導発現機構の解明につながるものと期待されます。この成果は、1月31日付の科学新聞で報道されるとともに、日本物理学会英文誌 *J. Phys. Soc. Jpn.* において「注目論文」として論文掲載されました。

超伝導と磁性の相互作用の問題は物性物理学における最重要課題の一つとされています。超伝導についての標準的な理論である BCS 理論によれば、超伝導は結晶の格子振動に起因するフォノンによって電子同士が対を組み超伝導になります。一方、実用化されつつある銅酸化物高温超伝導体や鉄系超伝導体、希土類・アクチノイド化合物の重い電子系超伝導体など、興味深い超伝導体の多くはそれ以外の機構によって超伝導になると考えられています。このうち、磁性に起因したスピンのゆらぎによる超伝導が有力な候補として考えられています。

通常の超伝導体は、図1左図のように「金属の顔」であるフェルミ面に等方的にギャップが開きます。このため電気伝導を担う電子が、磁性を持つことを妨げることになります。しかし最近の多くの興味深い超伝導体は、フェルミ面のギャップにノードを形成することで、磁性を持つことを可能にしています。しかし現実には、超伝導になって安定化した物質が、低温でさらに磁性を持つようなケースはこれまでほとんど知られていませんでした。

今回、CEA-Grenoble (フランス原子力庁) と東北大金研の研究グループは、典型的な重い電子系超伝導体 CeCoIn_5 に Nd をわずかに置換した物質 ($\text{Ce}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{CoIn}_5$) において、超伝導相内部で磁性が出現し、その磁性が「Q 相」と呼ばれる特殊な磁気秩序状態であることを発見しました。

純粋な CeCoIn_5 は、超伝導状態で磁場を加えていくと、超伝導が壊れる寸前の高磁場・極低温で「Q 相」という磁気秩序が現れることが知られています。

「Q 相」は超伝導中でしか現れず、非整合という特殊な磁気秩序状態です。磁性と超伝導の関係を調べる上で、「Q 相」は要となる秩序相であり、多くの理論モデルが提唱されるとともに微視的な測定手段による詳細な実験が待たれていました。

今回発見された「Q 相」はゼロ磁場で発現しており、これまでに知られていた「Q 相」とはその意味で異なっています。しかし、非整合な磁気秩序状態という意味では同じものです。非整合な磁気秩序状態は、フェルミ面どうしがぴったり重なり合うネスティングという状態をつくります。今回の成果は、図 1 右図に示すように、このネスティングが超伝導ギャップのノードを作っていることを示唆するものとして注目に値します。

実用化が期待される多くの超伝導体は磁性と密接な関係があり、その発現機構を解明することは新物質を開発する上でも重要な課題です。今回の成果は、基礎研究の立場から超伝導の発現機構に迫るものであり、今後の物質開発という点からも大きな波及効果を持つことが期待されます。

この成果は 2014 年 1 月 31 日付の科学新聞で報道されるとともに、日本物理学会英文誌 *J.Phys.Soc. Jpn.* に論文掲載され「注目論文」に選ばれました。

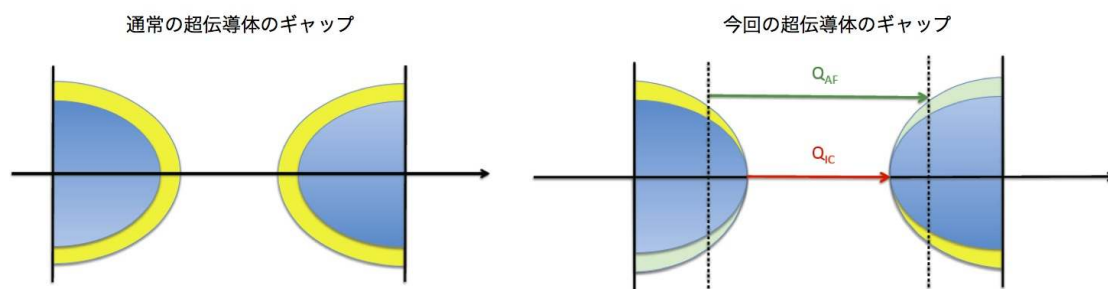


図 1: 通常の超伝導体のギャップ (左図) と今回の超伝導体のギャップ (右図)。通常の超伝導体はフェルミ面に等方的にギャップ (黄色の部分) が開くが、 $\text{Ce}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{CoIn}_5$ はノードができる。ノードは Q_{IC} で特徴付けられる非整合な磁気秩序状態「Q 相」と結びついている。 Q_{AF} は反強磁性伝播ベクトル。



図 2: 実験が行なわれた ILL (ラウエランジュバン研究所) のビームライン IN12 と CeCoIn_5 に Nd をわずかに置換した単結晶の写真。

文献

Magnetic Order in $\text{Ce}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{CoIn}_5$: the Q-Phase at Zero Magnetic Field

S. Raymond, S. M. Ramos, D. Aoki, G. Knebel, V. P. Mineev, and G. Lapertot: J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 013707 (2014)

問い合わせ先

青木大 (東北大学金属材料研究所教授)

aoki@imr.tohoku.ac.jp @マークを半角に変換