

磁性と超伝導を圧力・磁場で精密制御

CeRhIn₅の量子臨界点で新たな知見

物質の温度を冷やして絶対零度 (0 K) にすると、どのような状態が安定となり基底状態をとるのか。とくに複数の相互作用が競合する物質においては、0 K 付近で量子臨界現象と呼ばれる風変わりな現象が観測されることがある。その一例である磁性と超伝導の競合・共存問題は多くの物理学者の興味を引きつけている。これまで、磁性と超伝導は犬猿の間柄でお互いに相容れないものだと考えられてきた。しかし、最近話題になっている鉄系超伝導体をはじめとして銅酸化物高温超伝導体、重い電子系超伝導体などの新奇な超伝導体においては、磁性が超伝導の発現に重要な役割を果たしていることが分かってきた。物質を圧力・磁場・温度などの外部パラメータで精密にコントロールして、磁性および超伝導の発現機構を解明することは、基礎科学的な興味だけでなく、応用を視野に入れた材料開発という点からもきわめて重要である。

最近、フランス・グルノーブル原子力庁 (CEA-Grenoble) の G. クネベル、青木大、J. P. ブリゾン、J. フルケの4氏はセリウム (Ce) 系重い電子系超伝導体 CeRhIn₅ の純良単結晶を超高圧、極低温、強磁場の複合極限環境下で電気抵抗を精密に測定することにより、量子臨界点における磁性と超伝導についての詳細な知見を得ることに成功した。超高圧、強磁場下では CeRhIn₅ の磁性と超伝導は共存しており、通常は超伝導を破壊するはずの磁性が、量子臨界点ではむしろ超伝導の発現を助けていることが分かった (図 1 参照)。この研究は、日本物理学会の英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2008 年 11 月号に掲載される。

CeRhIn₅ は 2000 年にロスアラモス国立研究所で発見された重い電子系圧力誘起超伝導体である。同種の物質を含めて、これまでに 500 編を超える関連論文が発表されていることから、その注目度が理解できる。極低温で圧力を加えていくと 2GPa (大気圧の 2 万倍) で、反強磁性状態から超伝導状態に移り変わる。2GPa よりもやや高い圧力の超伝導状態で磁場を加えていくと、高磁場で反強磁性が再び現れることが知られていた。

本研究の成果は、極低温 (0.05 K)、強磁場 (16 テスラ: 地磁気の 40 万倍)、超高圧 (5GPa) までの極限環境下の電気抵抗測定によって得られた。図 1 に示す超伝導と反強磁性の共存領域の近くでは、電気抵抗は通常の金属とは著しく異なった振る舞いを示し、量子臨界点近傍でいわゆる重い電子状態が実現している。すなわち、ここではセリウム原子の 4f 電子は結晶中を雲のようにゆっくりとたなびいて動いているバンド電子であり、その有効質量は裸の電子の 100 倍にも達する。この重い 4f 電子による“反強磁性ゆらぎ”を媒介とした引力 (超伝導) 相互作用が伝導電子間に働き、臨界磁場 (H_{c2}) 以下で超伝導状態が出現し

ていると考えられている。これが、磁場ゼロ下での超伝導が温度 2.2 K で消失するのに対して、量子臨界点近傍では温度 0 K で 10 テスラもの大きな H_{c2} まで超伝導が保たれるメカニズムであり、磁性が超伝導の発現を支援していると言える。

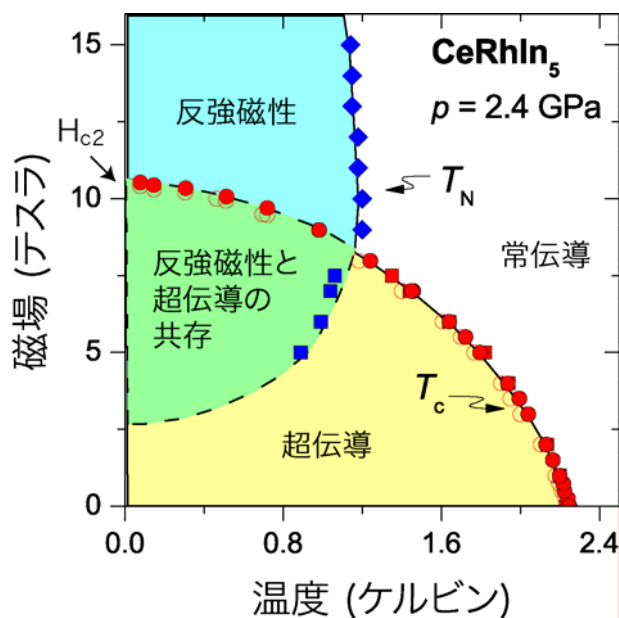


図 1. 高圧 (2.4GPa) における CeRhIn_5 磁場-温度相図。温度 0K、高磁場の量子臨界点近傍で、超伝導臨界磁場 (H_{c2}) が大きくなっている。

本研究で得られた CeRhIn_5 量子臨界点近傍の精密な実験結果は、磁性と超伝導の競合・共存問題を解明していく上での新たな知見として、多くの研究者の注目を集めている。同種の重い電子系化合物 CeCoIn_5 でも同様な磁場-温度相図が知られており、特異な量子臨界現象が観測されている。しかし、 CeRhIn_5 の場合と違って、高磁場の常伝導状態で反強磁性は観測されていない。なぜ両者に相違点が見られるのか、量子臨界点近傍の磁性と超伝導を探る上での重要な焦点であり、今後の研究による解明が期待される。

論文掲載誌 : J. Phys. Soc. Jpn. 77 No. 11, (2008) p.114704

電子版 : <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/114704/>

<情報提供: G. Knebel、青木 大、J. Flouquet (フランス・グルノーブル原子力庁)>