

金属スピン液体における量子臨界性

新物質科学研究部門 石川 洵、中辻 知

研究背景

磁性体中のモーメントは、温度を下げるに従いその熱ゆらぎが抑制され、ある温度で磁気秩序状態への相転移を起こすことが知られている。このとき磁場や圧力などの外部パラメータを制御することで、転移温度を下げ絶対零度に近づけ熱ゆらぎを抑制することができれば、支配的となった強い量子ゆらぎに駆動されて量子相転移を起こすことになる(図 1)。これまで、金属磁性体における量子臨界現象の研究は重い電子系と呼ばれる物質群において集中的に行われており、磁場や圧力などの外部パラメータを変化させ秩序状態を絶対零度まで抑制すると量子臨界性が発現することが知られている。重い電子系、銅酸化物および鉄ニクタイトに共通してみられる非従来型超伝導や異常な磁気・金属状態は量子臨界性に密接に関係していると考えられており、量子相転移の研究は大きな関心を集めている。

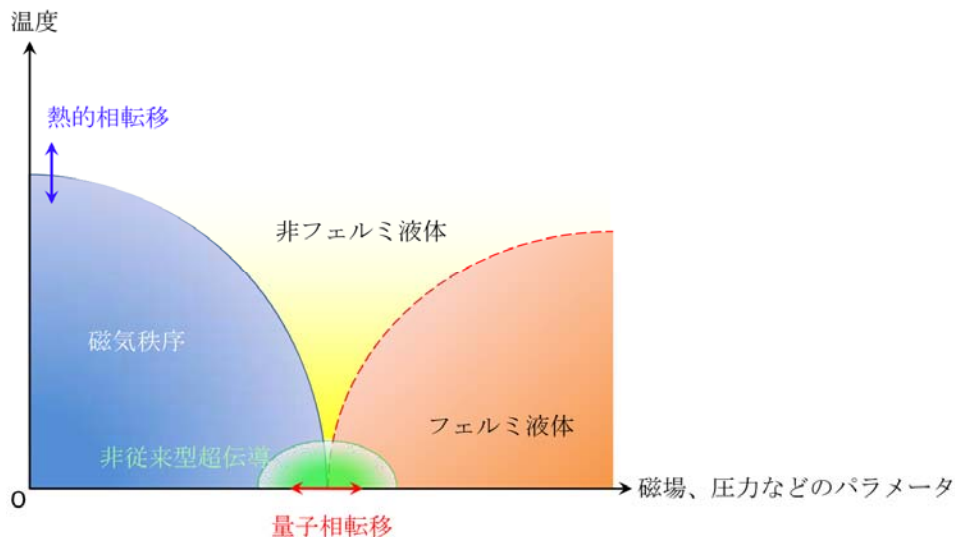


図 1. 強相関電子系における温度-外部パラメータ相図の概念図。

今回我々は金属スピン液体物質 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ において量子臨界性の存在を見出した。このことは本物質がスピン液体状態で示す巨大な自発的異常ホール効果の発現機構を理解する上で重要な知見となりうる[1-4]。 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ は Pr イオンがパイロクロア構造をとり、Pr イオンがもつイジングスピン間の強磁性相互作用によって幾何学的にフラストレートしたスピニアイス相関をもつ。その結果、基底状態は双極子秩序のないスピン液体状態になっていると考えられる。さらにこのスピン液体相において自発的異常ホール効果が観測されており、有限のスカラースピнкаイラリティが秩序化したカイラルスピン液体状態の発現を示唆している。

実験結果

ここでは、我々が育成した純良単結晶を用いて主にゲッティンゲン大学の常盤、Gegenwart両氏が行った $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ における磁気熱量効果の共同研究を紹介する[5]。磁気熱量効果は磁場による磁気エントロピー変化に起因する温度変化であり、磁気グリユナイゼン比は $I_H = 1/T(dT/dH)_S$ により定義される。これはまた磁化 M と比熱 C を用いて $I_H = -(dM/dT)/C$ とも表わされ、一般に量子臨界点において発散することが知られており、量子臨界性の存在に敏感な量である。 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ の磁



今後の展望

今回我々は $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ におけるゼロ磁場での量子臨界性を磁気熱量効果の測定を通じて明らかにした。これらの結果は、ゼロ磁場で自発的異常ホール効果を示すカイラルスピン液体相が、幾何学的フラストレーションによって誘起された量子臨界性の下に発現することを示唆している。フラストレートした金属のスピン液体状態において生じる量子臨界性の発見により、フラストレート金属物質群におけるさらなる実験的・理論的研究の進展が望まれる。

謝辞

本研究成果は、東京大学物性研究所、ゲッティンゲン大学の共同研究によるものです。本研究の一部は、JSPS 科研費 (25707030)、JST さきがけの支援を受けて行われました。本研究では東京大学物性研究所の物質設計評価施設を利用させていただきました。

参考文献

- [1] S. Nakatsuji *et al.*, Phys. Rev. Lett. **96**, 087204 (2006).
- [2] Y. Machida, S. Nakatsuji, Y. Maeno, T. Tayama, T. Sakakibara, and S. Onoda, Phys. Rev. Lett. **98**, 057203 (2007).
- [3] Y. Machida, S. Nakatsuji, S. Onoda, T. Tayama and T. Sakakibara, Nature **463**, 210 (2010).
- [4] L. Balicas, S. Nakatsuji, Y. Machida, and S. Onoda, Phys. Rev. Lett. **106**, 217204 (2011).
- [5] Y. Tokiwa, J. J. Ishikawa, S. Nakatsuji, and P. Gegenwart, Nature Mater. **13**, 356–359 (2014).

