

鉄系スピンラダーの物性研究

A study on the Fe-based ladder compounds

東北大学 大串 研也

2008年における鉄系高温超伝導体の発見以降、関連研究が爆発的に進行してきた。この7年余りの間に膨大な量のデータが蓄積され、超伝導発現機構の解明が進みつつある。発見後まもなく、フェルミ面のネスティングに由来する反強磁性揺らぎが拡張s波の超伝導を誘起しているという描像が提案されたが、その後の研究において軌道揺らぎの重要性や不純物効果の特異性が指摘され、未だに万人の納得する理解には至っていない。また、超伝導相に隣接する反強磁性相や常磁性相も、電荷・スピン・軌道が複雑に絡み合った特異な電子状態を有していることが明らかになってきた。一方で、これまでに発見された鉄系超伝導体は全て、鉄の正方格子という構造的特徴を有している。銅酸化物高温超伝導体の研究においては、多層系・梯子系など多彩な格子を舞台に電子物性を調べ比較検討することで、包括的な知見が得られたことを考慮に入れると、様々な格子トポロジーを有する鉄系化合物に興味を持たれる。こうした観点から、本研究課題では、1次元的な梯子格子を有する鉄系化合物 AFe_2X_3 ($A = K, Rb, Cs, Ba; X = S, Se$)に着目して物性研究を行った。

我々は、純良単結晶を育成しその電氣的・磁氣的・熱的・光学的性質を調べることで、鉄系化合物 AFe_2X_3 の電子状態の解明を目指した。その結果、①低次元系における電子相関効果増大のため絶縁体的挙動を示す、②低温で磁気秩序が生じるが、磁気転移に伴う比熱・磁化率の異常は小さく、低次元系における量子揺らぎの影響が示唆される、③磁気転移温度は $BaFe_2S_3$ の90 Kから $BaFe_2Se_3$ の255 Kまで幅広い、④磁気構造は、 $BaFe_2Se_3$ におけるブロック型、 $BaFe_2S_3$, $RbFe_2Se_3$, $CsFe_2Se_3$ におけるストライプ型と多彩である、⑤磁気秩序相の磁気モーメントは $1.3 - 2.8 \mu_B$ であり $S = 2$ の局在描像では記述できず、遍歴性や低次元系における量子揺らぎの影響が示唆される、⑥熱伝導率には、フォノンの他に1次元系の特徴的な磁気転移温度付近でピーク構造を示すマグノンによる寄与が存在する、⑦元素置換により電荷ギャップと磁気秩序は抑制されるが金属化には至らない、などの事実が判明した。さらに、共同研究者と圧力下の物性研究に取り組み、 ~ 10 GPaで電子構造は1次元的なものから2次元的なものに変化し、それとともに金属化することを明らかにした。これらの新たな知見から、鉄系化合物の電子状態は1次元系と2次元系で似ている側面があるが、1次元系ではより電子相関効果と量子揺らぎが顕著であることが分かった。今後は、本研究課題で得た知識を基盤に物質開発を実施することで、新しい鉄系高温超伝導体の発見に繋がりたいと考えている。