

論文内容の要旨

論文題目

Novel Quantum Phase Transition with Fermi Surface Reconstruction in Heavy Fermion System

重い電子系におけるフェルミ面再構成を伴う新奇な量子相転移

氏名 渡部 洋

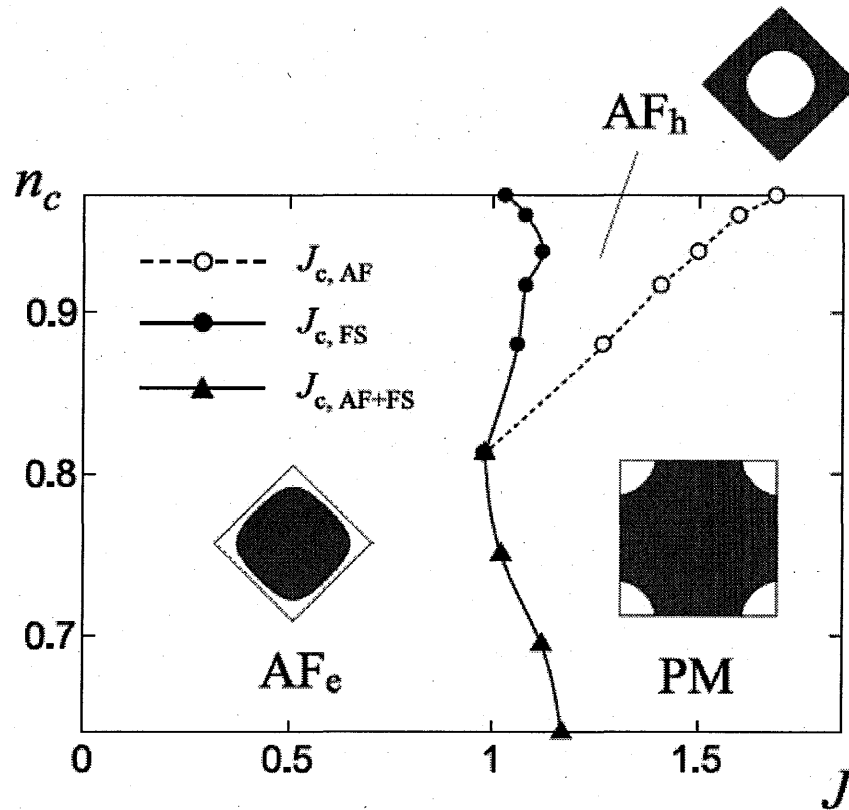
電子相関は物性物理の分野において最も重要かつ困難な問題の一つである。電子相関の重要性はまず初めに磁性の領域において注目され、後にはモット転移、量子臨界現象、異方的超伝導へと拡張されてきた。重い電子系は電子相関が強い系の典型例であり、精力的に研究が行われている。近年、この重い電子系に対して de Haas-van Alphen 効果やホール効果のようにフェルミ面を直接観測する実験が精密に行われるようになり、注目を集めている。特に、反強磁性転移の際にフェルミ面に急激な変化が起こっていることがいくつかの実験結果より示唆されている。これは従来の反強磁性転移の理論では説明できない点も多く、新たな描像の必要性が主張されはじめている。

重い電子系においては遍歴性の強い伝導電子と局在性の強い f 電子が混成を通じて絡み合っており、これが複雑な現象の原因になっている。この系の性質の詳しい解析には、重い電子系に即したモデルである近藤格子モデルや周期的アンダーソンモデルに立ち戻る必要があると考えられる。この考えに基づき、Si らは近藤ハイゼンベルク模型を用い、量子臨界点において伝導電子と f 電子の混成が消失し、「大きなフェルミ面」から「小さなフェルミ面」への転移が起きる local quantum criticality という概念を提唱している。この理論は実験で見られるフェルミ面の変化をよく説明することが出来るが、不明な点も多く、一致した見解はまだ得られていない。

我々はこの現状を踏まえ、重い電子系の反強磁性転移とフェルミ面の変化の関係を明

らかにすべく研究を始めた。具体的には、変分モンテカルロ法による二次元正方格子上の近藤格子模型とアンダーソン模型の基底状態についての理論的解析を行った。その結果、いずれの模型においても、従来の二次の反強磁性転移の他に、フェルミ面のトポロジーの変化を伴う一次転移（フェルミ面再構成）が存在することを確認した。また、広いパラメータ領域においてこの二種類の転移が同時に起こる一次の反強磁性転移の存在も確認できた。フェルミ面再構成は、エネルギー利得の機構の変化に伴って起こる転移であり、異なるタイプの電子が共存する重い電子系ならではの現象であると考えられる。フェルミ面再構成は、重い電子系における新たなタイプの量子相転移であり、実験で見られているフェルミ面の急激な変化と深い関係があると期待している。フェルミ面のトポロジーに注目したという点では *local quantum criticality* と同じ立場であるが、我々の描像では混成が残ったままフェルミ面の再構成が起こるという点が大きく異なっている。反強磁性転移点において混成が消失するという実験的な証拠は未だに得られておらず、我々の理論の正当性を示唆している。

このように、我々の計算結果は重い電子系の量子臨界点に対して新たな描像を提案している。フェルミ面の再構成に伴って f 電子の性質が遍歴的から局在的に変化するという描像は実験ともよく整合している。今後は三次元格子やフラストレーションのある格子への拡張を通じて、より現実に即した理論を構築していく予定である。



図：二次元正方格子上的近藤格子模型の基底状態相図。 $J_{c,AF}$ は従来の反強磁性転移、 $J_{c,FS}$ はフェルミ面の再構成、 $J_{c,AF+FS}$ はこれらが同時に起きる点を示している。