



Title	Nature of Critical Spin Fluctuations around the Quantum Critical Point
Author(s)	幡谷, 昌彦
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42175
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	はた 幡 たに 谷 まさ 昌 ひこ 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 5 5 4 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 12 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	Nature of Critical Spin Fluctuations around the Quantum Critical Point (量子臨界点近傍における臨界スピン揺らぎの性質)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三宅 和正 (副査) 教 授 天谷 喜一 教 授 吉田 博

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、量子臨界点近傍における臨界スピン揺らぎの効果およびスピン揺らぎに対する SCR (self-consistent renormalization) 理論の適用限界に関する理論的な研究を行った。

SCR 理論は弱い遍歴磁性体の熱力学的性質を良く記述しフェルミ液体論をベースに強相関電子系においても有効であり、その近似の精神はスピン揺らぎの場に対する平均場近似にある。しかし磁気相転移点近傍ではスピンの揺らぎが異常に発達するためそのような平均場近似は破綻する可能性がある。本論文では SCR 理論では考慮されないスピン揺らぎの場の間の残留相互作用の効果を、スピン帯磁率 χ_0 に対する摂動展開により評価し SCR 理論の適用限界を調べた。その結果、量子臨界点近傍では摂動による帯磁率の補正は重要でなく、この補正を考慮しても SCR 理論から予測される物理量の臨界指数は変わらないことが示された。このことは、 $T=0$ の量子臨界点近傍では SCR 理論は漸近的に正確であることを意味しており、摂動的な繰り込み群による研究結果とも一致する。有限の転移温度 T_c を持つ場合、 T_c の近傍では量子スピン揺らぎよりも古典スピン揺らぎが支配的である。この場合、補正の効果が重要となり SCR 理論が破綻する領域があることが示された。帯磁率への補正が十分小さいという条件から、SCR 理論が正当化される領域を定める「一般化された Ginzburg 判定条件」が求められた。この判定条件から、 T_c が小さくなるとともに非ガウス領域が狭くなり、量子臨界点 ($T_c=0$) でこの領域が消え去ることが判った。

次に、量子臨界点近傍に位置する重い電子系が示す非フェルミ液体的性質が、反強磁性スピン揺らぎの観点から理論的に調べられた。このような非フェルミ液体的性質は準粒子のスピン揺らぎによる異常散乱が反映したものである。このとき準粒子の描像はまだ成立している。守谷・瀧本は従来の SCR 理論を現象論的に拡張し、動的臨界指数 $z=2$ の反強磁性スピン揺らぎの観点から比熱および電気抵抗の非フェルミ液体的性質を理論的に明らかにした。一方依然として反強磁性量子臨界点近傍における一様帯磁率 χ_u の異常な振る舞いについては、その重要性にも拘わらず理論的に明らかではなかった。また $\text{CeCu}_{5.5}\text{Au}_{0.1}$ における比熱、電気抵抗の振る舞いは、守谷・瀧本らの結果とは一致しない。本論文では自由エネルギーの磁場依存性に対するスピン揺らぎの効果を再規格化された摂動理論により評価し、一様帯磁率の温度依存性を導出した。その結果は、 $z=2$ に対して $\chi_u \propto 1 - \beta_2 T^{\frac{1}{2}}$ (β_2 は定数) であり、これは Ce_7Ni_3 における実験事実を良く説明する。この際 SCR 理論の枠内では、実験で報告される χ_u の異常な振る舞いを説明出来ないことが示された。最後に $\text{CeCu}_{5.5}\text{Au}_{0.1}$ における中性子散乱実験の結果から、一つの単位胞に偶数個の磁性原子を含む場合に $z=3$ の反強磁性という従来にないスピン揺らぎのクラスが実現可能であることが判った。

この揺らぎのクラスにより $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$ の比熱の振る舞いが良く説明されることが示された。

論文審査の結果の要旨

本論文では、量子臨界点近傍における臨界スピン揺らぎの効果およびスピン揺らぎに対する SCR (self-consistent renormalization) 理論の適用限界に関する理論的な研究を行った。

SCR 理論は弱い遍歴磁性体の熱力学的性質を良く記述しフェルミ液体論をベースに採れば強相関電子系においても有効であり、その近似の精神はスピン揺らぎの場に対する平均場近似にある。しかし磁気相転移点近傍ではスピンの揺らぎが異常に発達するためそのような平均場近似は破綻する可能性がある。本論文では SCR 理論では考慮されないスピン揺らぎの場の間の残留相互作用の効果を、スピン帯磁率 χ_q に対する摂動展開により評価し SCR 理論の適用限界を調べた。その結果、量子臨界点近傍では摂動による帯磁率の補正は重要でなく、この補正を考慮しても SCR 理論から予測される物理量の臨界指数は変わらないことが示された。このことは、 $T=0$ の量子臨界点近傍では SCR 理論は漸近的に正確であることを意味しており、摂動的な繰り込み群により得られていた結果とも一致する。有限の転移温度 T_c を持つ場合、 T_c の近傍では量子スピン揺らぎよりも古典スピン揺らぎが支配的である。この場合、補正の効果が重要となり SCR 理論が破綻する領域があることが示された。帯磁率への補正が十分小さいという条件から、SCR 理論が正当化される領域を定める「一般化された Ginzburg 判定条件」が求められた。この判定条件から、 T_c が小さくなるとともに非ガウス領域が狭くなり、量子臨界点 ($T_c=0$) でこの領域が消え去ることが判った。

次に、量子臨界点近傍に位置する重い電子系の示す非フェルミ液体的性質が、反強磁性スピン揺らぎの観点から理論的に調べられた。このような非フェルミ液体的性質は準粒子のスピン揺らぎによる異常散乱が反映したものである。このとき準粒子の描像はまだ成立している。守谷・瀧本は従来の SCR 理論を現象論的に拡張し、動的臨界指数 $z=2$ の反強磁性スピン揺らぎの観点から比熱および電気抵抗の非フェルミ液体的性質を理論的に明らかにした。一方依然として反強磁性量子臨界点近傍における一様帯磁率 χ_u の異常な振る舞いについては、その重要性にも拘わらず理論的に明らかではなかった。また $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$ における比熱、電気抵抗の振る舞いは、守谷・瀧本らの結果とは一致しない。本論文では自由エネルギーの磁場依存性に対するスピン揺らぎの効果を再規格化された摂動理論により評価し、一様帯磁率の温度依存性を導出した。その結果は、 $z=2$ に対して $\chi_u \propto 1 - \beta_2 T^{\frac{1}{2}}$ (β_2 は定数) であり、これは Ce_7Ni_3 における実験事実を良く説明する。この際 SCR 理論の枠内では、実験で報告される χ_u の異常な振る舞いを説明出来ないことが示された。最後に $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$ における中性子散乱実験の結果から、一つの単位胞に偶数個の磁性原子を含む場合に $z=3$ の反強磁性という従来にないスピン揺らぎのクラスが実現可能であることが判った。この揺らぎのクラスにより $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$ の比熱の振る舞いが良く説明されることが示された。

以上の結果は量子臨界スピンの揺らぎの研究に新しい知見を加えたものであり、博士 (理学) 論文の価値があると認めることができる。