

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成 17 年度採択分

平成 20 年 3 月 31 日現在

研究課題名（和文）マイクロ K 温度領域における量子臨界現象の研究

研究課題名（英文）Study of Quantum Critical Phenomena at Micro Kelvin Temperatures

研究代表者

鈴木治彦（SUZUKI HARUHIKO）

金沢大学・大学院自然科学研究科・特任教授



研究の概要：絶対零度で起きる相転移、量子相転移が起る転移温度近傍では量子ゆらぎが効いて来て特異な現象が現れる。この量子臨界現象を、重い電子系 CeRu_2Si_2 、エアロジェル中の液体 ^3He の超流動、Pt 金属の核磁性という異なった系を研究代表者、分担者の 3 人がそれぞれの得意分野を担当して研究する。これらを比較検討する事により量子相転移、量子臨界現象についての本質的理解が得られると考える。

研究分野：超低温物理

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：量子臨界現象、量子相転移、重い電子系、超流動 ^3He 、核磁性

1. 研究開始当初の背景

量子相転移、量子臨界現象の研究は物性物理の中心的課題と言って良く、非常に活発に研究が行われている。特に重い電子系の研究は活発であるが殆どの研究の温度は 0.01K 以上と高い。超流動 ^3He の研究の温度は低い。量子臨界現象を目的とした研究は少ない。

2. 研究の目的

本来絶対零度近傍における現象なので出来るだけ低い温度が重要であると考え、我々は少なくともマイクロ K 温度領域まで温度を下げて研究する。上記 3 つの異なる系、それぞれ特性温度が K, mK, μK と 3 桁ずつ異なる系を用いて研究し、新しい量子臨界現象の観測を期待し、さらにこの 3 つの系の結果を比較する事により量子臨界現象の本質を明らかにしたい。

3. 研究の方法

2 台の核断熱消磁冷却装置を用いて試料を μK 温度領域まで冷却する。重い電子系 CeRu_2Si_2 はこれまで帯磁率、磁化の測定を行っていたので、熱膨張、磁歪の測定をする。超流動 ^3He の研究はエアロジェルという液体 ^3He に理想的不純物として働く物質の中に入れて超音波で測定する。Pt 金属の核磁性は数 100 μK 温度から試料の核スピン自体をもう一度核断熱消磁冷却を行い核スピン・オーダーを実現する。

4. これまでの成果

1) 重い電子系 CeRu_2Si_2 は高温ではキュリーワイス則に従って帯磁率が低温で上昇し約 6 K 以下では温度に依らない帯磁率即ち Fermi 液体的帯磁率を示す。図 1 の帯磁率はそれ以下、100mK 以下の帯磁率で一定になった帯磁率からのずれを示している。ゼロ磁場では測定された最低温度 150 μK まで帯磁率は上昇していた。しかしこの温度変化は既存の理論に合わない。また小さな磁場を掛けると帯磁率にピークを作るがこのピークの原因も分からなかった。そこで熱膨張と磁歪の測定を行った。右に熱膨張の結果を示している。高温 (6K 以下) の Fermi 液体状態では T^2 に良く合う。これはそこからのずれを示

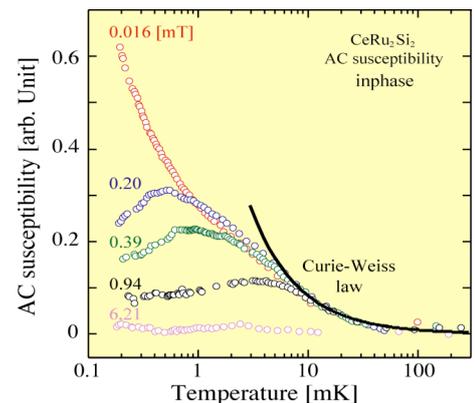
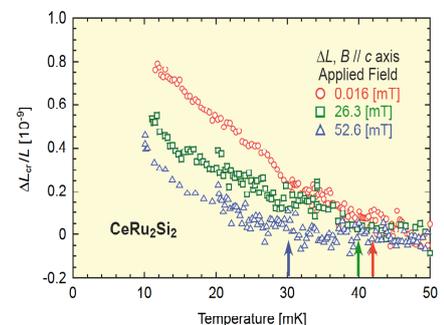


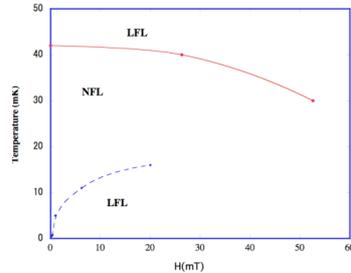
Fig. 1 CeRu_2Si_2 の交流帯磁率



熱膨張の T^2 変化からのずれ

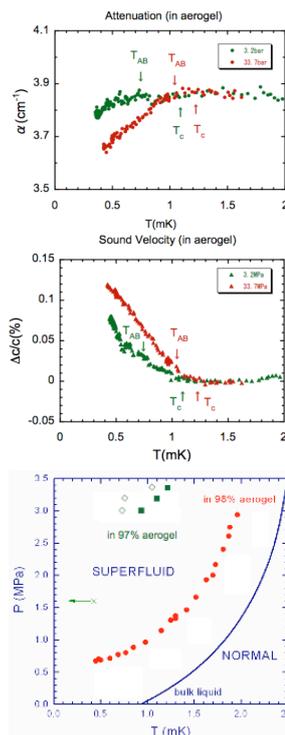
〔4. これまでの成果 (続き)〕

している。帯磁率がずれて来たのに対応する。より低温では熱膨張の感度が無くなるので磁歪測定を行った。帯磁率がピークの後一定値になるのは Fermi 液体的になることを意味し、一定値が磁場に依存するのは有効質量 m^* が磁場に依存する事に対応している事も分かった。これらの結果から相図が描けた。図から分かるように CeRu_2Si_2 は量子臨界点のごく近傍に



ある。量子臨界点は最近の理論に依れば熱膨張係数測定から得られるグリユナイゼン定数を用いて推定できる。その結果圧力の増大した方向に存在すると思われ。しかしこれは置換系の実験、即ち格子状数の増大した方向 (負の圧力に相当) に磁気転移が現れる、と合わない。今後理論および置換系の実験双方の検討し直しが必要。

2) 空孔率97%エアロジェル中の液体 ^3He : 精度よく音速と超音波吸収の測定が出来る装置を作成しマイクロ K 温度領域までの測定を開始した。右図に示している測定例から明らかなように超流動転移が音速の上昇、A 相—B 相転移が吸収の減少できれいに捉えられた。A—B 転移が一次相転移であるのに対応してヒステシスも観測されている。



これまで圧力を変えて測定して右図のような相図を得た。これから量子臨界点は約 2.5 MPa と推定された。今後量子臨界現象の観測を目指す。バルクの液体 ^3He では超流動転移点において吸収にエネルギーギャップに対応するピークが観測され、98%エアロジェル中ではピークは観測されずにすぐに減少している。しかし我々の 97%エアロジェル中ではピークも減少も観測されていない。97%では 98%とは異なる超流動状態が出現している可能性があり、大変興味のある今後の課題である。

5. 今後の計画

CeRu₂Si₂系: 磁歪の測定は μK 温度領域でも感度が有るのでさらに低温まで測定する。これに依って量子臨界点近傍の磁場による変化に対するデータはほぼ得られたことになろう。圧力に対する変化の情報の為、(現在我々は圧力変化に対する超低温実験手段が無いので)、置換系に依って格子状数の変化による量子臨界現象を測定する。

エアロジェル中の液体 ^3He : 超流動転移および A-B 転移温度の圧力依存性のより詳細な相図を完成させ、量子臨界点を精度よく決定する。この量子臨界点を与える圧力のもと、出来るだけ低温まで超音波測定を精度よく行い量子臨界現象の観測を行う。

^{195}Pt 金属の核磁性: 先ずは天然の存在比の ^{195}Pt の核磁気秩序を実現する。さらに濃縮した試料で核磁気秩序を観測する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) (研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- 1) Yun Xue, Shumsun Naher, Fumiaki Hata, Hiroshi Kaneko, **Haruhiko Suzuki** and Yoshihiro Kino; Low Temperature X-ray Diffraction Study of ZnCr_2O_4 and $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Cr}_2\text{O}_4$, J. Low Temp. Phys. **151** (2008) 1193-1204
- 2) Koichi Matsumoto, Hiroyuki Tsuboya, Keiichi Yoshino, Satoshi Abe, **Haruhiko Suzuki**, and Dmitrii Tayurskii "Possible Sound Mode Conversion in "Superfluid ^4He -97% Open Aerogel" System" Journal of Low Temperature Physics 148 (2007) 615-620
- 3) S.Abe, D.Takahashi, J.Yoshida, K.Matsumoto, **H.Suzuki** and T.Kitai; Hyperfine Nuclear Magnetism of PrPb_3 in the Antiferro-Quadrupolar Ordered State, AIP Conf. Proc. 850 (2006) 1293-1294.
- 4) K.Matsumoto, K.Yoshino, M.Nishikawa, S.Abe, **H.Suzuki** and K.Tajiri; Solidification and Melting of ^4He in Aerogel Observed by Ultrasound Propagation, AIP Conf. Proc. 850 (2006) 347-348.
- 5) J.Yoshida, S.Abe, D.Takahashi, K.Matsumoto and **H.Suzuki**; Magnetic properties at small magnetic fields and ultra low temperatures, AIP Conf. Proc. 850 (2006) 1171-1173.
- 6) M.Nishikawa, K.Yoshino, S.Abe, **H.Suzuki**, K.Matsumoto, D.A.Tayurskii and K.Tajiri; Pressure dependence of the sound velocity of He-4 in Aerogel, J. Phys. Chem. Solid **66** (2005) 1506-1508.