

MERIT 海外長期派遣 報告書

MERIT2期生 物質系専攻 辻本真規
派遣期間 2015. Aug. 26 ~ Oct. 30

研究課題名： 非磁性化合物 $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ の磁気熱量測定による軌道ゆらぎ量子臨界性の研究

今回 MERIT 長期海外派遣のプログラムにより、Philipp Gegenwart 教授のグループ(ドイツ・アウグスブルグ大学)に受け入れられて実験を行った。その結果、興味深い結果が得られたのでその成果を簡単に報告する。

1. 今回行った研究の背景

結晶の中で局在した電子と伝導電子間の混成が強い系では、電子の質量が実効的に重くなった状態が実現する。そして、このような系では混成の強さを変化させることによって電子のモーメントの揺らぎが大きくなり、低温部で通常とは違った電子物性や、重い電子超伝導などの特異な現象が見られることがある。そのような点は量子臨界点と呼ばれている。特に電気四極子モーメントの揺らぎによる重い電子超伝導は、転移温度の上昇が期待される鉄系超伝導とも関係があるのではないかとされており、興味深い。

これまで磁気的な量子臨界点については非常によく研究がされてきたが、電気四極子モーメントの揺らぎによる量子臨界点の研究は進んでいなかった。その原因としては、四極子揺らぎの量子臨界現象を示す典型物質が確立されていないことがあげられる。四極子の研究を行うには、非磁性である立法晶 I_3 の結晶場基底状態を持つ物質が必要であるが、これまで発見された物質で I_3 の基底状態を持つものはほぼすべて混成が弱いことが分かっている。

そんな状況の中、 $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ は I_3 の結晶場基底状態を持ち、かつ、強い混成が見られる例外的な物質であることが近年の我々のグループの研究で分かっている。さらに最近、純良な単結晶を用いた高磁場中電気抵抗率測定の研究により、この物質に 11 T の磁場をかけたとき、四極子揺らぎの量子臨界点の実現することが分かった。この新しい量子臨界点をさらに別の手法で測定することにより、四極子量子臨界の知見を深めることは非常に重要である。

2. 研究・渡航の目的

一方、量子臨界性を調べるには磁気熱量効果の測定が非常に効果的であることが Philip Gegenwart 教授によって確立されている。磁気熱量効果とは物質に変動磁場を印加したとき、その磁場に応じて物質の温度が変化する現象である。断熱条件下でこの温度変化を読み取ることによって Magnetic-Grueneisen 係数 Γ_H が得られる。 Γ_H は量子臨界点において発散的な振る舞いを見せることが知られている。そこで、磁気熱量効果測定の第一人者である Philip Gegenwart 教授の下で $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ の磁気熱量効果を測定し、軌道の量子臨界性を調べることを目的として研究を行った。

3. 結果

ドイツへの渡航に先立って、サンプル合成のノウハウを蓄積している我々の研究室で結晶の合成、電気抵抗率による評価を行った。そして、そのうち2片をアウグスブルグ大学に持ち込んで測定を行った。まずはじめにサンプルの基本的な情報を得て磁気熱量効果の解析に生かすために、比熱の測定を行った。その結果、日本で行った電気抵抗率による評価では良い結果であった2つのサンプルのうち、1つは比熱測定では質が悪いことが分かった(このサンプルを「サンプル#1」、もう一方の質が良い方のサンプルを「サンプル#2」とする)。これは、結晶の質が均一でないことに起因すると思われる。これらのサンプルを図1に示すようなプラットフォームに乗せて磁気熱量効果を測定した。

まず500 mK で磁場を変化させていくと、量子臨界磁場に近い12 Tにおいて Γ_H のピークが見られた。さらに、質の良いサンプル#2でのみ、 Γ_H のサインチェンジも11 T直下で見られた。これは磁氣的な量子臨界点においてよく見られている現象で、軌道ゆらぎの量子臨界点においても同様の振る舞いが初めて見られたことは軌道の量子臨界性を解明するうえで大きな前進である。また、さまざまな磁場における Γ_H の温度変化を測定したところ、量子臨界磁場付近では Γ_H が低温に向かって上昇していく振る舞いが見られた。Prの核比熱が大きいため、500 mK程度よりも低温側では意味のある測定ができなかったが、高温部でも量子臨界性を反映した十分に面白い結果が得られた。

4. 謝辞

この度の渡航と実験に関して、たくさんの方にお世話になりました。特に、受け入れを許可してくださった Philipp Gegenwart 先生と、受け入れを初めに打診してくださった、指導教官である中辻知先生に御礼申し上げます。また、実際の研究全体についてはアウグスブルグ大学の酒井明人博士に強力な援助をしていただき、大変勉強になりました。アウグスブルグ大学の装置の補修については酒井明人博士に加え、Christian Stingl 博士にお世話になりました。現地での生活についてはアウグスブルグ大学の秘書の Eleonore Saladie 氏と酒井明人博士、Andreas Woerl 氏にお世話になりました。このような素晴らしい機会を与えてくださった MERIT 関係者の方々には非常に感謝しております。ありがとうございました。

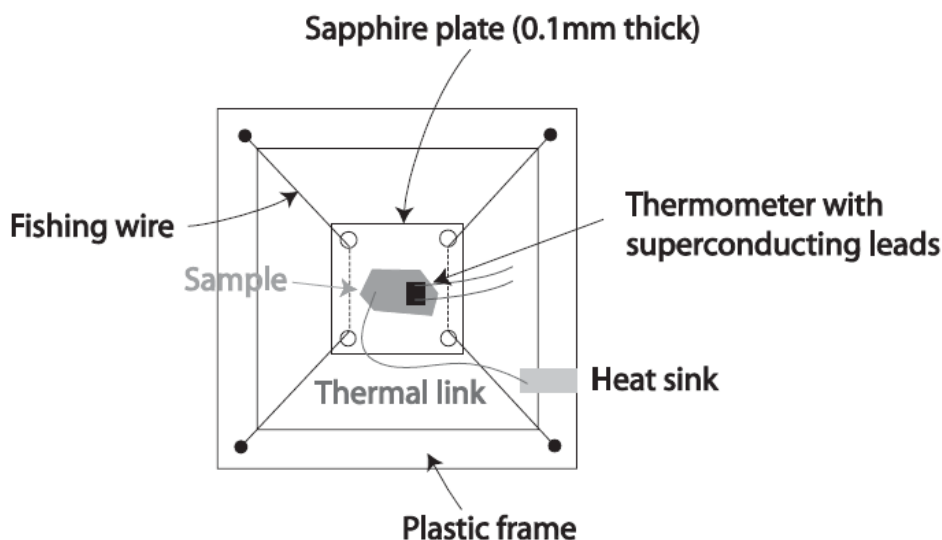


図1 サンプルとプラットフォームの配置図。

Y. Tokiwa, and P. Gegenwart, Rev. Sci. Instrum. 82, 013905 (2011).