

論文審査の結果の要旨

氏名 仲島 康行

銅酸化物高温超伝導物質、重い電子系、有機導体などのいわゆる強相関電子系を特徴づけるもののひとつはその異常な伝導特性にある。ランダウのフェルミ液体論によれば、(最も単純な場合) ホール係数はキャリア密度と $R_H = 1/ne$ の関係にあり、電子電子散乱による抵抗率の温度依存性は $\rho \propto T^2$ に従う。また磁気抵抗はいわゆるケーラー則(Koehler's rule) $\Delta\rho(H)/\rho(0) = f(\mu_0 H/\rho(0))$ に従うことが期待される。しかしながら強相関電子系では単純なフェルミ液体から大きく逸脱したふるまいが見られる。そのような非フェルミ液体的ふるまいは量子臨界点の近傍において特に顕著となる。たとえば銅酸化物高温超伝導物質の最適ドーピング領域では電気抵抗の温度依存性が $\rho \propto T$ に従うことや、ホール係数が顕著な温度依存性を示すことなどが特徴として認識されている。本研究は、最近発見された擬2次元的重い電子系物質 CeMIn_5 (M: Co, Rh, Ir) を採りあげ、温度-圧力相図の各部分、特に量子相転移点近傍における輸送特性を詳細に調べたものである。

本論文は7章からなる。第1章は序論、第2章は強相関電子系の輸送現象に関するレビュー、第3章は CeMIn_5 の結晶構造やこれまでに知られている相図および物性をまとめたものである。第4章では本研究の実験手法が述べられ、第5章では輸送現象の実験結果が提示されている。第6章ではそれらの実験結果と理論との比較が行われ、第7章で全体の結論が述べられている。

CeRhIn_5 の低温相は常圧では $T_N \approx 3.8\text{K}$ の反強磁性であるが、2GPa 程度以上の圧力下では長距離磁気秩序は失われ $T_c \approx 2\text{K}$ の超伝導が発現する。すなわち $P_c \approx 2\text{GPa}$ に量子臨界点がある。これに比して CeCoIn_5 および CeIrIn_5 は常圧から超伝導を示しており(それぞれ $T_c \approx 2.4\text{K}$ および $\approx 0.4\text{K}$)、量子臨界点は負の圧力側に位置しているものと想定されている。

一般に f 電子系を含む重い電子系では異常ホール効果が大きいために intrinsic な輸送特性を抽出するのが困難であるが、 CeMIn_5 では例外的に異常ホール効果の寄与が小さく、しかも不純物散乱の少ないクリーンな電子系であるため輸送特性の解析に曖昧さが少ない。また、圧力によって系を量子臨界点の近傍に設定することができるという特徴をもつ。本研究ではこれらの特徴を活かして、量子臨界点近傍の強相関電子系に特徴的な異常輸送特性を明らかにした。異常輸送特性の特徴として：(1)ホール係数は十分高温では $R_H = 1/ne$ に相当する値を示すが、低温ではその絶対値が大きく増大する。(2)磁気抵抗は通常のケーラー則には従わず、むしろ $\tan^2 \Theta_H$ でよくスケールされる (Θ_H はホール角)。(3)電気抵抗およびホール抵抗の温度依存性は、 $\rho \propto T$ 、 $\cot \Theta_H \propto T^2$ でよく表される。

学位申請者はこれらの特徴が銅酸化物高温超伝導物質の常伝導相において観測される性

質と極めて類似していることに着目し、提唱されているいくつかの理論モデルとの比較検討を行っている。銅酸化物高温超伝導物質の異常輸送特性については、スピン・電荷分離という描像（非フェルミ液体からのアプローチ）と反強磁性的スピン揺らぎによる異方的散乱（フェルミ液体からのアプローチ）が提唱されている。学位申請者は基底状態がモット絶縁体である銅酸化物系と反強磁性金属である CeMIn_5 系が類似のふるまいを示すことを根拠に前者を退けている。後者の立場では、フェルミ面上で散乱緩和時間が著しく異なる領域（ホットスポットとコールドスポット）が存在するというモデルが提唱されているが、学位申請者は、単純にこのモデルを適用するとホール係数の実験結果が説明できないこと、バックフローの効果を採り入れた理論とは整合すること、を結論している。また低温でホール係数の絶対値が再び減少するという実験事実は、不純物散乱によって散乱時間の異方性が減少するためにバックフローの効果が抑制される結果との解釈を提示している。

以上のように、本研究は擬2次元重い電子系 CeMIn_5 (M: Co, Rh, Ir)の異常輸送現象を詳しく調べ、その特徴が銅酸化物高温超伝導物質と類似していることを指摘したもので、強相関電子系の輸送現象の理論的解明に有益な材料を提供したものと評価される。本論文の中核をなす研究内容は指導教員らとの共著論文として学術誌に印刷公表されているが、実験の遂行および結果の解析の大部分は論文提出者が主体となって行なったものと判断される。よって、博士(理学)の学位授与に値するものと認める。