

論文審査の結果の要旨

氏名 羽根慎吾

本学位論文の研究対象物質であるCePdAlは、磁性原子セリウムがc面上にカゴメ格子を成す特殊な結晶構造を持つ化合物で、その構造に由来するフラストレーションを持つ近藤反強磁性体として知られている興味深い物質である。本論文では、低温、高圧、高磁場の多重極限下で本化合物の量子相転移を電気抵抗、比熱、帯磁率などの測定を通して調べ、臨界指数を求めることを目的としている。

本論文は5章からなり、第1章は、序章、第2章は、磁場発生法と測定方法など実験方法について述べられている。第3章は、磁化、帯磁率、電気抵抗率、比熱の測定結果、第4章は、測定結果の考察、第5章は、まとめと結論に当てられている。

第1章では、重い電子系、近藤効果、量子相転移、フラストレーションなどの物理的背景と研究対象物質であるCePdAlの一般的性質が述べられている。第2章では、まず超伝導マグネットやパルスマグネットなどの磁場発生法について述べ、パルス磁場下および高圧下における磁化測定装置と電気抵抗および比熱測定装置がそれぞれの測定に使用された圧力セルの構造と共に詳しく記述されている。それから本研究で使用した単結晶試料についてその大きさや形状などが述べられている。第3章では、CePdAlとその置換系CePd_{0.9}Ni_{0.1}Alの磁化、帯磁率、電気抵抗率、比熱の測定結果が測定毎にまとめられている。磁化は $T > 0.5\text{K}$ 、 $P < 1.3\text{GPa}$ の温度・圧力領域で、パルス磁場では $B < 45\text{T}$ 、定常磁場では $B < 20\text{T}$ で測定され、電気抵抗率は $B < 9\text{T}$ 、 $P < 1.1\text{GPa}$ で直流四端子法により測定され、比熱は $T > 0.4\text{K}$ 、 $P < 1.4\text{GPa}$ の領域で交流法により測定された。これらの物理量の高圧下での測定から反強磁性が消える臨界圧力が約 0.95GPa であることを確認し、特に帯磁率のブロードなピークは 0.8GPa でも観測されていることから、その臨界圧力近傍でもフラストレーションが残っていると推定している。

第4章では、フラストレーションと低次元性、近藤効果などの観点から測定結果の総合的な考察がなされ、臨界圧力近傍の測定結果から臨界指数が求められている。たとえば、常圧で比熱曲線がネール点に対応するピークより高温側で大きな裾を引いていることや、帯磁率がブロードなピークを示す温度 (3.7K) とネール点 (2.7K) との比が3次元格子に対する計算値と2次元格子のその中間にあることから、少なくとも常圧では2次元性に

よるフラストレーションが低温まで残っている系であることが指摘されている。また0.5Kにおける磁化過程測定から3段のメタ磁性転移を発見し、これはネール点以下の磁場中でフラストレーションを解消しながら幾つかの安定な磁気構造に変化しつつ強磁性的な配列に転移してゆく過程であると解釈した。また、近藤温度を、比熱から求めた γ 値と磁気エントロピーや電気抵抗率の温度曲線を近藤効果の理論と比較の上求めた。しかし、それらの間には1.3GPaで約3~4倍の差や異なった圧力依存性があることが明らかになったが、常圧で約3Kであった近藤温度は1.2GPaで15K程度まで上昇しているらしいと結論した。すなわち、少なくとも0.8GPa以上の高圧下では近藤効果は強くなり、フラストレーションも徐々に解消されてゆくものと予想している。臨界圧力近傍で観測された電気抵抗と帯磁率の非フェルミ液体的振る舞いが9テスラの磁場印加によりフェルミ液体的振る舞いに変わることから、ゼロ磁場で観測された非フェルミ液体的振る舞いは量子相転移近傍での臨界異常によるものであると仮定して、帯磁率、電気抵抗率、比熱（厳密には比熱/温度）の温度依存性から臨界指数がそれぞれ 1.6 ± 0.2 、 0.99 ± 0.02 、0と求められた。比熱と電気抵抗率の臨界指数はSCR理論をはじめとする多くの理論から予想されている結果と一致したが、1.6という帯磁率のそれはSCR理論ばかりでなく本論文提出者が調べたいかなる理論の予想をも超えるものであった。したがって、当初期待された低次元性に基づくフラストレーションの臨界指数への直接的な証拠とは断定できなかったものの、本研究で得られた帯磁率の大きな臨界指数が低次元性によるものではないかと推定している。

第5章では、本研究の際立った成果は、フラストレーションを持つ近藤反強磁性体CePdAlの磁化、電気抵抗、比熱の測定を常圧および高圧下で行い、高圧下で磁氣的フラストレーションが存在する状態で量子相転移を観測し、臨界指数を決定したことであると結論している。

本研究は、フラストレーションを持つ近藤反強磁性体CePdAlの高圧下における量子臨界現象を帯磁率、比熱、電気抵抗率測定において観測し、臨界指数を決定したばかりでなく、多重極限下での精密な磁化の測定技術を確立するなど学位論文として評価に値するものであることが審査員全員によって認められた。なお、本論文は、後藤恒昭氏をはじめ試料提供者など数名との共同研究であるが、論文提出者が主体となって測定及び測定結果の解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であったものと認め、博士（理学）の学位を授与できると認める。