

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（理学）	氏名	山根 悠
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目 Non-Fermi Liquid Behaviors in Diluted Pr Systems (Y,Pr) $T_2Zn_{20}$ ( $T = Ir, Co$ ) (Pr 希薄系(Y,Pr) $T_2Zn_{20}$ ( $T = Ir, Co$ )における非フェルミ液体的挙動)			
論文審査担当者			
主査	教授	鬼丸 孝博	印
審査委員	教授	鈴木 孝至	印
審査委員	教授	嶋原 浩	印
審査委員	准教授	松村 武	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>4f 電子を 2 個もつ希土類 <math>Pr^{3+}</math> イオンを含む立方晶化合物では、全角運動量 <math>J = 4</math> の基底 <math>J</math> 多重項が、結晶場 (CEF) 効果により <math>\Gamma_1</math> 一重項, <math>\Gamma_3</math> 二重項, <math>\Gamma_4</math> 三重項, <math>\Gamma_5</math> 三重項に分裂する。このうち非磁性の <math>\Gamma_3</math> 二重項は、磁気双極子をもたず、電気四極子の自由度をもつため、電気四極子に起因した物性の発現が期待される。1987 年、D. L. Cox によって、単サイトの 2 チャンネル (四極子) 近藤モデルが提案された。このモデルでは、<math>\Gamma_3</math> 二重項の局所的な電気四極子が、2 つの等価な伝導バンドの <math>\Gamma_8</math> 部分波の四極子成分によって過剰に遮蔽され、比熱を温度で割った <math>C/T</math> と四極子感受率 <math>\chi_Q</math> が <math>-\ln T</math>, 電気抵抗率 <math>\rho</math> が <math>\sqrt{T}</math> に比例する非フェルミ液体(NFL)的挙動を示し、絶対零度で <math>(1/2)R \ln 2</math> のエントロピーが残ることが予言された。四極子近藤効果の可能性については、<math>f^2</math> 配位の U または Pr を希薄に含む(Th,U)Be<math>_{13}</math>, (Y,U)Pd<math>_3</math>, (Th,U)Ru<math>_2</math>Si<math>_2</math>, (La,Pr)Pb<math>_3</math> など調べられてきたが、試料に含まれる不純物や原子の無秩序配置、あるいは U の 5f 波動関数の結晶場準位の同定が困難である、という問題があり、実験的な確証には至っていなかった。(第 1 章の内容。)</p> <p>このような背景のもと、本論文の著者は、基底 <math>\Gamma_3</math> 二重項をとる立方晶 PrIr<math>_2</math>Zn<math>_{20}</math> の <math>Pr^{3+}</math> イオンを非磁性元素 Y で希釈した系において、単サイトの四極子近藤効果が発現すると予想した。Pr 希薄系(Y, Pr)<math>T_2Zn_{20}</math> (<math>T = Ir, Co</math>)の純良な単結晶を Zn 自己フラックス法により作製し、極低温領域の <math>T &gt; 0.04</math> K, 強磁場 <math>B \leq 14</math> T における比熱, 電気抵抗, 磁化, 熱膨張を精密に測定した。そして、NFL 的な温度依存性が観測されるのか、またそれが単サイトの四極子近藤効果として理解できるのかを調べた。(第 2 章, 3 章の内容。)</p> <p>著者は、Pr 希薄系(Y, Pr)<math>T_2Zn_{20}</math> (<math>T = Ir, Co</math>)の磁気比熱を温度で割った <math>C_m(T)/T</math> の 10 K 付近の極大を、二重項-三重項の二準位モデルによるショットキー型の比熱で再現した。</p>			

また、磁化率 $\chi(T)$ が 10 K 以下で温度降下と共に一定値に近づく van-Vleck 常磁性的挙動を示し、1.8 K における磁化  $M(B)$  が磁気異方性を示すことから、CEF 基底状態が  $\Gamma_3$  二重項となることを確定した。(第 4 章 1 節 1 項, 同 2 節 1 項の内容。)

著者は、極低温の  $T=0.04$  K までの比熱と電気抵抗を精密に測定し、NFL 的な温度依存性を観測した。 $x, y < 0.5$  における  $C_m(T)/T$  と電気抵抗率  $\rho$  の 3 K からの変化量  $\Delta\rho(T)$  は、 $T < 2$  K でそれぞれ  $-\ln T$  と  $1+A\sqrt{T}$  ( $A$  は正の定数) の温度変化を示し、単サイトの四極子近藤モデルによる予測と符合する。さらに、置換量  $x, y$  の異なる系の  $C_m(T)/T$  と  $\Delta\rho(T)$  は特性温度  $T_0$  を用いてスケールされ、 $C_m(T)/T$  と  $\Delta\rho(T)$  の NFL 的挙動が同一の機構により生じたことを示唆する。また、磁化と熱膨張の測定からも、単サイトの四極子近藤効果の発現を支持する結果を得た。(第 4 章 1 節 2 項, 同 2 節 2 項の内容。)

著者は、上記の NFL 的挙動に対する磁場効果について調べた。 $(Y, Pr)Ir_2Zn_{20}$  の  $x=0.044$  における  $C_m(T)/T$  の  $-\ln T$  依存性は  $B \geq 4$  T で消失し、 $\Delta\rho(T)$  も上凸の温度依存性から外れる。これらの振る舞いは、局在  $4f^2$  状態を仮定した CEF 効果とゼーマン効果を考慮することで説明でき、磁場による NFL 状態から局在的な  $4f^2$  電子状態へのクロスオーバーを示唆する。以上の結果より、これらの Pr 希薄系の NFL 的挙動が単サイトの四極子近藤効果に起因すると結論付けた。(第 4 章 1 節 3 項の内容。)

このように、著者は、Pr 希薄系  $(Y, Pr)T_2Zn_{20}$  ( $T=Ir, Co$ ) の純良単結晶を作製し、極低温での比熱と電気抵抗率の精密測定により検出された NFL 的な温度依存性が、単サイトの四極子近藤効果の理論モデルによる予測と符合することを明らかにすることにより、これまで実験的に同定されていなかった四極子近藤効果が、 $f^2$  配位をとる Pr 希薄系の  $\Gamma_3$  二重項において発現することを提案した。(第 5 章の内容。) この結果は、多極子と伝導電子の相関に関する今後の系統的な研究に指針を与える成果であり、意義があると認められる。

以上のことから、審査の結果、本論文の著者は博士 (理学) の学位を授与するに十分な能力と実績を有するものと認める。

備考 審査の要旨は、1,500 字程度とする。