

Title	Crystal Field Effect on Quasi-particle Excitations in Heavy Fermion Systems
Author(s)	Ikeda, Hiroaki
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3129133
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	池田浩章
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第13234号
学位授与年月日	平成9年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	Crystal Field Effect on Quasi-particle Excitations in Heavy Fermion Systems (重い電子系における準粒子励起の結晶場効果)
論文審査委員	(主査) 教授 三宅 和正 (副査) 教授 朝山 邦輔 教授 鈴木 直 教授 大貫 惇睦

論文内容の要旨

近年、重い電子系のような強相関電子系の物理が精力的に研究されている。理論的な見地からは、アンダーソンモデルやハバードモデルといったモデルが研究され、最近の数値計算の発達に伴ってその描像はほぼ明らかにされた。これらのモデルに共通して言える特徴は、その特異な温度依存性であろう。すなわち、高温におけるスピンの振る舞いと、低温における大きな質量増大を受けた重い準粒子によるフェルミ液体的な振る舞いである。しかし、これらのモデルにおいては簡単のためにその結晶場の効果は取り入れられていないのが普通である。このような結晶場の効果は、高温側の帯磁率の異方性などを理解しようとしたときには大変重要で、実験的には無視できない。

では、このような結晶場は低温の重い準粒子にどのような効果をもたらすのであろうか？

本研究では、周期的アンダーソンモデルにおいて、この結晶場効果を2つの観点から議論する。

まず始めに、結晶場励起状態が低温の重い準粒子に対してどのような役割をしているかについて考える。準粒子の性格を調べる方法としては、スレーブボソンの平均場近似を用いる。 f^0-f^1 の状況では、Ce系の振る舞いをよく再現し、重い準粒子は結晶場基底状態の f 電子によって構成され、その性格を反映する。結晶場励起状態はかえって上に押し上げられ、その効果は弱くなると考えられる。他方、 f^2 の状況では、 f^2 に対応する結晶場分裂は強く繰り込まれて、本質的に縮退した準粒子描像になる。さらに、興味深いのは f^2 singlet が結晶場基底状態の時である。このとき、スピン帯磁率の準粒子部分は大きく繰り込まれた準粒子の状態密度にはスケールせず、繰り込まれる前の混成バンドにスケールする。これは、スピン帯磁率がVan Vleck 帯磁率のようなインコヒーレントな部分によってだけ表されることを意味し、重い電子のフェルミ液体の新しいクラスの存在を予言している。これは、最近のUPt₃のKnight shiftの実験における超伝導転移前後の異常な振る舞いをうまく説明する。

第2に、 f^2 の状況において、重い準粒子を記述する結晶場基底状態の f 電子の性格について調べる。結晶場基底状態にある f 電子波動関数はその対称性を反映して、何らかの異方性を持つ。この異方性は周期的アンダーソンモデルにおいてその混成項の波数依存性という形で現れる。このような波数依存性が現れる場合として、バンドの絶縁体(半導体)を考える。このような絶縁体の本質は混成ギャップであるが、このギャップはその混成項の波数依存性を反映するため、場合によっては非常に異方的なギャップになる可能性を秘めている。

重い電子系における絶縁体は SmB_6 , YbB_{12} , CeBi_4Pt_3 など近藤絶縁体として知られており、そのギャップは低温において形成される。最近注目されている CeNiSn や CeRhSb では、結晶の a 軸方向でギャップが消えている可能性があり、その発見当初から大きな謎であった。この低温での異方的ギャップ形成の謎は、上で述べたように周期的アンダーソンモデルにおいて f 電子の結晶場基底状態の対称性を反映した混成項の波数依存性を考慮することによって統一的理解できることが示される。

このような混成項の波数依存性は金属状態（例えば、 CeRu_2Si_2 のメタマグ転移）でも重要と考えられる。

論文審査の結果の要旨

本論文は重い電子系の低エネルギー現象を記述する準粒子励起に対する結晶場の効果を理論的に研究した結果をまとめたものである。

近年、重い電子系を始めとする強相関電子系の物理が注目されて精力的に研究されている。重い電子系に対しては、周期的アンダーソン模型が理論的に調べられその基本的な物理描像はほぼ解明されたと言える。即ち、高温における局在スピンの振る舞いと、低温における大きな質量増大を受けた重い準粒子によるフェルミ液体的な振る舞いが理論的に再現された。しかし、従来の理論的取り扱いでは簡単のためにその結晶場の効果は取り入れられていないのが普通であった。本論文では、低温で形成される重い準粒子に対する結晶場の効果に関する理論的研究がなされた。

最初に、結晶場励起状態が低温の重い準粒子に対してどのような役割をもつかについて、スレーブボソンの平均場近似を用いて調べた。 Ce -系において実現すると考えられる f^0-f^1 の状況では、重い準粒子は結晶場基底状態の f 電子によって構成されており、その性格を反映する。他方、 U -系の場合を想定した f^1-f^2 の状況では、 f^1 に対応する結晶場分裂は強く繰り込まれて、本質的に縮退した準粒子描像になることが判った。

後者の場合に興味深いのは f^1 -重項が結晶場基底状態の場合である。このとき、スピン帯磁率の準粒子部分は大きく繰り込まれた準粒子の状態密度にはスケールせず、繰り込まれる前の混成バンドにスケールする。これは、スピン帯磁率がVan Vleck 帯磁率のようなインコヒーレントな部分によってだけ表されることを意味し、重い電子のフェルミ液体的な新しいクラスが存在を予言しており、最近の UPt_3 のKnight shiftの実験における超伝導転移前後の異常な振る舞いをうまく説明する。

前者の場合には、重い準粒子は f 電子の結晶場基底状態の対称性を反映して、何らかの異方性を持ち、周期的アンダーソン模型においてその混成項の波数依存性という形で現れる。このような波数依存性が顕著に現れる場合として、重い電子のバンド絶縁体（半導体）が考えられる。混成ギャップはその混成項の波数依存性を反映するため、非常に異方的なギャップになる場合がある。最近注目されている CeNiSn や CeRhSb では、結晶の a 軸方向でギャップが消えている可能性があり、その発見当初から大きな謎であった。この低温での異方的ギャップ形成の謎は、 f 電子の結晶場基底状態の対称性を反映した混成項の波数依存性を考慮することによって統一的理解できることが示された。この考え方は、古くから近藤絶縁体として知られていた SmB_6 , YbB_{12} , $\text{Ce}_3\text{Bi}_4\text{Pt}_3$ などの起源を理解する鍵を与え得るものである。また、このような混成項の波数依存性は金属状態（例えば、 CeRu_2Si_2 のメタ磁性転移）でも重要な場合があると考えられる。

以上のように、結晶場の効果が重い電子系の準粒子状態の性質に顕著な影響をもつことを明らかにしたことの意義は大きく、本論文は博士（理学）論文として価値があるものと認められる。