

Eu系における結晶場誘起型重い電子

琉大院理工，琉球大理^A
 國吉真伍，椎名亮輔^A

近年の Eu 化合物に対する集中的な研究により，これまで Eu 系では見られなかった重い電子状態や，複雑な磁気秩序，磁性・非磁性間の量子相転移が相次いで観測され，それらの微視的な起源が広く興味を集めている [1, 2]. 本講演では，Eu 系特有の重い電子の生成機構に焦点をあて，不純物モデルによる解析結果について報告する。

通常，Eu イオンは化合物中で二価をとる。Eu²⁺ は半充填 4f⁷ 配位であるため，軌道角運動量の消失と大きなスピン $S = 7/2$ で特徴づけられる。我々の問題意識の一つは，こうした大きなスピンから，どのように非磁性の重い電子状態が実現するのかという点にある。それらに関して，我々は Eu 系不純物アンダーソンモデルを導入し，その解析を行ってきた [3]. これまでの解析では，Eu²⁺ と Eu³⁺ 間の価数揺動を考慮したモデルを扱ったが，本研究では，Eu²⁺ 局在近傍における以下の有効モデル考える。

$$H = \sum_{k\sigma} \varepsilon_{k\sigma} c_{k\sigma}^\dagger c_{k\sigma} + J\sigma \cdot S + \Delta S_z^2.$$

ここで， $\varepsilon_{k,\sigma}$ は伝導電子の 1 電子エネルギー， $c_{k\sigma}^\dagger (c_{k\sigma})$ は伝導電子の生成（消滅）演算子であり，第一項はバンドエネルギーを表す。第二項は伝導電子のスピン $\sigma = 1/2$ と不純物スピン $S = 7/2$ の相互作用であり，第一項と合わせて，通常的近藤モデルとなっている。一方で，第三項は不純物スピンに対する結晶場項である。

本研究では，上記のモデルを数値繰り込み群 (NRG) により解析した [4]. エントロピーの温度変化の結果を図 1 に示す。まず， $\Delta = 0$ の通常的近藤モデルの結果を見ると， $\log T_K \sim -5$ 付近で， $S = 7/2$ から $\tilde{S} = 3$ へのクロスオーバーに対応した，緩やかな減少が見られる。一方， $0 < \Delta \leq T_K$ の場合，高温側は $\Delta = 0$ の場合と同様に振る舞うが， $T \sim \Delta$ で，急激に減少し，シングレット基底状態となることがわかる。また，その $T \sim \Delta$ における振る舞いは，実線で示した $S = 3$ の不純物スピン状態における，単純な結晶場分裂の振る舞いによく一致する。以上より， T_K で形成された強結合の $\tilde{S} = 3$ 状態は，結晶場分裂により， $\tilde{S}_z = 0$ のシングレット状態になったと解釈できる。

しかしながら，比熱と帯磁率の計算結果から，シングレット状態での準粒子の有効質量は Δ に

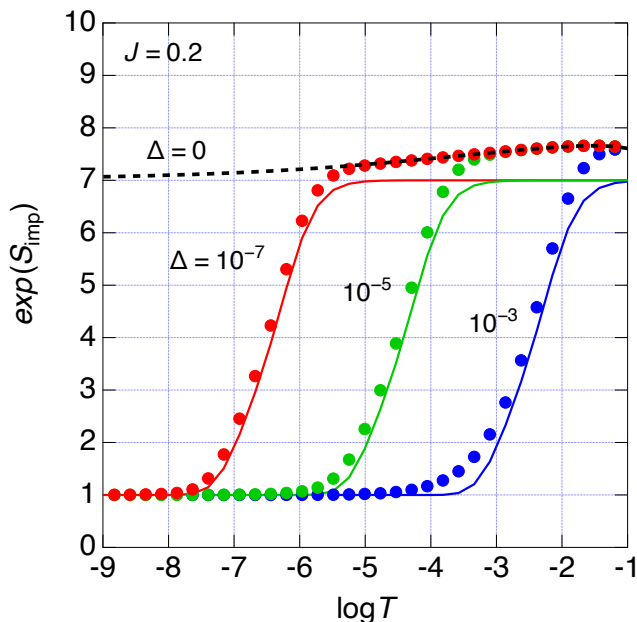


図 1 $e^{S_{\text{imp}}}$ (S_{imp} は不純物エントロピー) の温度依存性：点は有効モデルの計算結果，実線は $S = 3$ に結晶場を導入した場合の結果。

強く依存し、著しく増大していることが明らかになった。このことは、上述の強結合有効スピン $\tilde{S} = 3$ 状態に対する、単純な結晶場分裂という解釈と矛盾し、非自明な結果と言える。我々は、この異常な質量増強が、Underscreening 近藤モデルや強磁性的近藤モデルに現れる Singular フェルミ液体の振る舞いとして、よく説明できることを確認した [4]。当日は、より詳細な数値計算の結果を報告し、現実物質との対応も議論する予定である [4, 5]。

- [1] Y. Hiranaka: J.Phys. Soc. Jpn. **82**, 083708 (2013).
- [2] T. Takeuchi et al.: J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 074709 (2018).
- [3] S. Kuniyoshi and R. Shiina, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 124711 (2020).
- [4] S. Kuniyoshi and R. Shiina, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 123702 (2021).
- [5] P. Coleman and C. Pepin, Phys. Rev. B **68**, 220405 (2003).