

Dense Kondo系の超伝導について (コメント)

東大物性研 福山 秀敏

I. CeCu_2Si_2 における超伝導の発見は、超伝導に対する関心を新たにさせる。当研究会で茅田、立木両先生によって詳しく紹介されているが、この系は dense Kondo と称される特徴、即ち、100 K 程度から温度を下げると、抵抗及び帯磁率がそれぞれ $\ln T$ 及び T^{-1} に比例して増大するが、 $T \sim 10 \text{ K} \equiv T_K$ 近傍でその傾向がなくなり、 $T_K > T$ ではフェルミ流体的な coherent な振舞いを示す。超伝導転移は $T_c \sim 0.5 \text{ K}$ で起る。低温領域での比熱は温度に比例するが、その係数 γ は通常の金属でのそれの 10^3 倍程度大きい。 $T = T_c$ で比熱のとびが見られ、その大きさと γ の関係は、BCS 超伝導のそれに近い。これらの事実に基づいて、この系の低温物性は質量の大きい“重いフェルミ粒子”により支配され、この粒子系が超伝導になると、単純には想像されるが、以下に述べるように事情はそれほど簡単ではない。

II. 磁性不純物/個がある場合、温度が Kondo 温度より下がると、図1に模式的に示したように、フェルミエネルギー近傍の状態密度が大きくなる。磁性原子が格子裏に規則的に配列すると、この大きな状態密度を持つエネルギー領域の状態は coherent なバンドを作ろう。これが大きな γ の原因となる。しかし、この大きな状態密度は、伝導電子のスピンと局在スピンの自由度の合成による 磁気的 な励起による。電荷のゆらぎは含まない。従って、この大きな状態密度が超伝導にそのまま関与することはない。この裏を返さうさせるため、1次元のモデルを考えよう。

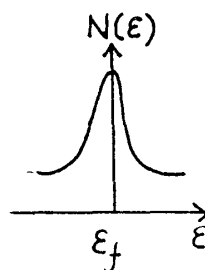


図 1

III. 1次元フェルミオン系の励起は長波長で、図2のように、それぞれ速度 V_c, V_s を持った charge と spin の fluctuation モードで記述される。一方、磁性原子系は図2の破線で示したように、低エネルギーを持った spin だけの fluctuation になっている。

この2つの自由度が相互作用すると新たなモード(図3)が発生する。この合成されたモードが、 q -lin のままで止まる事がフェルミ流体が存在することに対応する。この合成モードのうちの低エネルギーモード(V_1)の特徴的エネルギー T_0 が T_K に相当する。 $T > T_0$ では V_1 モードのゆらぎは局在スピンのように振舞うが $T < T_0$ では V_1 モードの分散関係が系の磁気的性質を決定する。小さい V_1 と反映して大きな γ が出るが、超伝導は V_c と V_1 の両方で決まる。この考え方では、フェルミオンが元来持っていた BCS 的な結合定数 $g_{BCS} (< 0)$ が $g_{BCS}^* = g_{BCS} + J^2/2\pi V_1$ となり、(ここで J はフェルミオン系と磁性スピン系のスピンのゆらぎの間の結合定数) この g_{BCS}^* によって T_c が決まる。又、3次元秩序は V_1 のモードに gap を生じ、 γT_c と同程度の比熱のとびと導く。なお、具体的計算にはボゾン表示による位相ハミルトニアンを用いた。

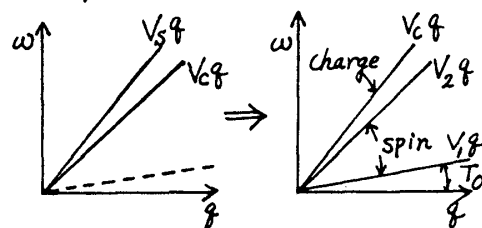


図 2

図 3