

論文審査の結果の要旨

氏名 小野田 繁樹

高温超伝導体におけるクーパー対の対称性がd波であることが実験的に確立されるにともない、低ドーブ領域における擬ギャップの理解が最近の研究の焦点となってきている。当学位論文では、その理論的理解を目標として、高温超伝導で重要な役割をしていると期待されるスピン揺らぎとd波超伝導揺らぎの競合について考察している。

当論文は本文三章と付録二章からなっている。第一章では、高温超伝導の問題の基礎に横たわる強相関電子系の問題について簡単に触れた後、本論文で議論される実験結果が要約されている。光電子分光で観測される一粒子スペクトルに表れる擬ギャップ、核磁気共鳴に見られるスピン励起の擬ギャップ、そして中性子散乱で観測されている共鳴ピークなどである。第一章の終わりでは、現在までに試みられている高温超伝導に対する各種の理論的アプローチについて著者の見解が述べられ、当学位論文で用いられる半現象論的アプローチの必要性和有効性について議論している。

第二章が本論文の中心である。まず、反強磁性のスピン揺らぎとd波超伝導揺らぎについて4次までとったGinzburg-Landau-Wilson流の有効作用を導入する。2次のGaussianの項については長波長近似を導入するが、そこで二つの仮定を設けている。第一は、相関長については $(\pi, 0)$, $(0, \pi)$ 近傍のvan Hove singularityからの寄与が支配的であるとする。第二の仮定は、揺らぎのダンピングが、揺らぎの相関長によって変更を受けるというものである。その程度をダンピング項の相関長依存性に対する指数としてパラメータ化している。この指数を1として、ダンピングが相関長によって線形に押えられる場合が擬ギャップの発現の場合に対応することになる。

次に、4次の項からの繰り込みを行なうのであるが、それは自己無撞着なスピンの揺らぎの理論で用いられている処方せんに従い実行する。その結果、相関長に関する自己無撞着な繰り込み方程式が得られ、スピン揺らぎと超伝導相関の温度依存性が決定される。

以上が理論の枠組であるが、それを $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ などの具体的な高温超伝導体に適応するに当たっては、Ginzburg-Landau-Wilson流の有効作用に表れるパラメータを光電子分

光、核磁気共鳴、中性子散乱などの実験から決めている。このパラメータ決定のプロセスは第二章への付録としてまとめられている。さらに、低ドーピング領域では、ダンピング項の相関長依存性に対する指数を1としている。その結果、超伝導相関の成長とともにスピン相関が押えられ、とくに核磁気共鳴の緩和率 $1/T_1T$ に T_c より上の温度から擬ギャップ的振舞いが再現される。また、中性子散乱で測定される磁気構造因子に共鳴ピークの構造が現れる。さらに、これらの揺らぎをグリーン関数の自己エネルギーにとり入れることにより、一粒子励起の擬ギャップ的振舞いも再現する。これに対して、オーバードーピング領域では、ダンピング項の相関長依存性が弱いと仮定することにより顕著な擬ギャップ的振舞いがないことが記述される。第三章では主要な結論がまとめられ、今後に残された課題について触れられている。

なお、付録の二章では高温超伝導の理論に関して、著者が後期課程在学中に行なった研究の要約がなされている。

以上見てきたように、本論文では高温超伝導体の擬ギャップという重要な問題に対して、反強磁性スピン揺らぎと超伝導揺らぎの両者を同時に扱い、それらの相互作用を考えることによって、半現象論的にはあるがさまざまな物理量に現れる擬ギャップ現象への理解の糸口をつけた功績は大きい。また、本論文は指導教官である今田正俊教授との共同研究であるが、本人の寄与は主体的で十分であると認められる。

よって論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。