

Title	重い電子系の超伝導(Anderson Modelの厳密解とその応用に関する理論的研究,科研費研究会報告)
Author(s)	上田, 和夫
Citation	物性研究 (1986), 45(5): 41-42
Issue Date	1986-02-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/91879">http://hdl.handle.net/2433/91879</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

## 重い電子系の超伝導

東大工学部物理工学科 上田和夫

重い電子系の超伝導と理論の立場から議論するにはいくつかの異なった段階にわけ考えるのが便利である。もちろんそれぞれの理論は重層的につながり、境界では明確な区別が成り立たないことは論をまたない。

第一の問題は重い電子とはそもそも何かということである。これは超伝導にとってはその常伝導相の性質はどんなふう記述されるかという問題である。Ce化合物については次第にコンセンサスが形成されてきた。その物理的基礎は Yamada, Yosida, Hanzawa<sup>(1)</sup> が示したように縮退が大きい場合近藤効果の束縛エネルギーが大きく RKKY相互作用に打ち勝ち得ることにある。Read, Newns, Doniach<sup>(2)</sup> は汎関数積分法を用いて準粒子を記述する有効ハミルトニアンを導いた。これは一種の平均場近似であって対称性の破れをともっている。この対称性の破れは近似による見かけのものであってゆらぎを取り入れることにより対称性が回復すると考えられるが Coleman<sup>(3)</sup> は不純物問題に対しては実際にそうになっていることを示した。また Rice, Ueda<sup>(4)</sup> は Gutzwiller の変分計算と周期的アンダーソン模型に適用して同じような有効ハミルトニアンを得ている。それによれば縮退の大きい極限では  $1/\text{縮退度}$  展開と同等の結果を与え、縮退の小さい時には磁気秩序に対して不安定になることが導かれる。この結果は定性的には正しいと考えられるが縮退の小さい場合にはより厳密な取り扱いが必要であろう。ウラン化合物のように原子あたり複数個の  $f$  電子が存在する場合の準粒子状態については、今後の研究をまたねばならない。

第二の問題は、重い準粒子が低温でコヒーレントに形成された挙動におこる超伝導の特徴は何かということである。直観的にも、また上で述べた種々の取り扱いでも示されるように準粒子間には強い斥力が残る。このことと、準粒子の特徴的エネルギーが小さく MacMillan の極ポテンシャルの考えが使えないことから、通常の等方的 ( $s$  波) 超伝導は考えにくい。一方これらの重いイオンではスピン軌道相互作用が大きくそれはクーパー対にたいしても何らかの影響をおよぼすと考えられる。従ってスピン軌道相互作用のある結晶中での超伝導の分類を確立する必要がある。この仕事は Anderson<sup>(5)</sup> に始まり、Volovik, Gor'kov<sup>(6)</sup>, Ueda, Rice<sup>(7)</sup> および Blount<sup>(8)</sup> によって完成された。それによれば奇パリティの状態ではギャップは点上で消える (ABM型) か、どこでも零とならない (BW型) かのいずれかであって線上で消えることはない。これに反し偶パリティの状態では線上で消える (Polar型) も可能である。

第三の問題は異方的超伝導で期待される新しい現象を考えることである。こうした取り扱いは重い電子系の超伝導の型を実験的に確立するためにも必要とされる。その一つは不純物の超伝導におよぼす影響である。<sup>(9)</sup>  $s$  波超伝導に対しては時間反転をこわさない不純物は第一近似で超伝導の熱力学的性質を変えないことは Anderson の定理としてよく知られている。  $s$  波以外の超伝導に対しては不純物散乱は一般に depairing とし働く。その効果は  $T_c$  を下げるだけでなく異方的超伝導の熱力学的性質と状態によっ

て異なるやり方で変える。特にギャップが線上で消える polar 型の場合、不純物がない限り準粒子の状態密度はエネルギーに比例して零となるが、不純物があればたとえわずかでも零エネルギーの励起が有限となる。その結果低温比熱は温度に比例することになる。この意味で熱力学的に純粋なポーラー型の超伝導はあり得ない。最後に第二で述べた分類学(群論)に関連した新しい現象として domain wall による超音波吸収の可能性を指摘しておきたい。(UTh)Be<sub>3</sub>の系で2つの2次に近い相転移が報告されている。T<sub>c</sub>以下の第二の相転移点で異常に大きな超音波吸収が Batlogg 達によって観測されている。彼らはそれが異常に大きい事実から第二の転移を反強磁性相への転移と解釈したが NMR のデータを見るとこの解釈には無理があると思われる。一方異方的超伝導状態では一般に domain を形成する。我々はその domain wall のエネルギーが第二の転移点でほとんど零になり得ることを示し、domain wall の運動によって超音波が吸収される機構を提案した。<sup>(10)</sup> この考えは超伝導が内部自由度を持ち、その異なる状態間の転移が第二の相転移であることを仮定している。我々はこの考えの当否は簡単な実験によって検証し得ることと同時に指摘した。実験結果が待たれる。

## 文献

- (1) K. Yamada, K. Yosida and K. Hanzawa, Prog. Theor. Phys. 71, 450 (1984)
- (2) N. B. Read, D. M. Newns and S. Doniach, Phys. Rev. B30, 3841 (1984)
- (3) P. Coleman, "Theory of Heavy Fermions and Valence Fluctuations" ed. by T. Kasuya and T. Saso, Springer, 1985.
- (4) T. M. Rice and K. Ueda, Phys. Rev. Lett. 55, 995, 2093 (1985)
- (5) P. W. Anderson, Phys. Rev. B30, 4000 (1984)
- (6) G. E. Volovik and L. P. Gor'kov, JETP Letters 39, 559 (1984)
- (7) K. Ueda and T. M. Rice, Phys. Rev. B31, 7114 (1985) and Adv. in Solid State Physics XXV, 209 (1985)
- (8) E. I. Blount, Phys. Rev. B32, 2935 (1985)
- (9) K. Ueda and T. M. Rice, "Theory of Heavy Fermions and Valence Fluctuations" ed. by T. Kasuya and T. Saso, Springer, 1985.
- (10) R. Joynt, T. M. Rice and K. Ueda, preprint (1985).