

アンダーソン局在と磁性不純物

物性研 福山秀敏

[1] はじめに

乱雑な系での相互作用は、その動的な効果の低周波数寄りが電子の拡散運動から生ずるため、低温で多量の物理量に特異な温度(T)依存性をひき起す。¹⁾ 仮りに相互作用の行列要素のフーリエ成分、 $V(q, \omega_2)$ が波数、 q 、エネルギー、 ω_2 、に全く依存しない場合でも、次元数、 d 、により $\ln T$ ($d=2$)、 \sqrt{T} ($d=3$)の寄与がある。

[2] 乱雑なポテンシャル中を運動する伝導電子による近藤効果

従来、近藤効果の研究では伝導電子は完全結晶中のそれと近似されるのが普通であった。しかし、伝導電子の平均自由行程、 l 、が有限になるとどうなるであろうか？ このことについて [1] に述べた観点から J^2 (J は磁性不純物スピンと伝導電子のスピンとの交換相互作用)の範囲で調べた。このとき、effectiveな相互作用が $V(q, \omega_2) \propto \omega_2^{-1}$ と見なせることから、電子の寿命、 τ 、電気伝導率、 σ 、に強い T 依存性を持つ寄与が存在するに気がわかった。²⁾ τ^{-1} 、 $\sigma \propto T^{\frac{d}{2}-2}$ 、(スピン帯伝導率には $(\ln \tau T)^d$ の寄与)。

[3] 以前の研究

上の論文の発表後、Zimanyi 及び Keller から、1970年代初期に同様の内容が論争の種となっていたことを知らされた。Everts-Keller (1970)³⁾ は $d=3$ で τ^{-1} に $1/\sqrt{T}$ の寄与を見出し、この寿命が σ を決めるであろうとして、 σ にも $1/\sqrt{T}$ の寄与があると主張した。これに対して Bohnen-Fisher (1973)⁴⁾ は τ^{-1} の $1/\sqrt{T}$ は確認したが、 σ にはこれがないと主張した。(この主張を Keller 自身も認めたようである; ref. 4 脚注)。しかし、Bohnen-Fisher が σ の計算に用いた表式は根拠がなく、結論は間違っている。この事実は、最近、Vladar-Zimanyi⁵⁾ も確認している。結果的に Everts-Keller は数係数を除いて (ref. 3 は左にエネルギーでの σ を σ に用いたが、このエネルギー依存性が強い部分はこれより正しくない) 正しい。

[4] 実験

上のような理論の混乱のため系統的な実験は残念ながら存在しない。代わりに R. Hasegawa⁶⁾ が Ni-Pd-P alloy で少量の Ni を Fe で置換した場合に抵抗の $1/\sqrt{T}$ が測定されたと報告した。同じ論文で彼は a-Pd-Si alloy では $1/\sqrt{T}$ が見出されないことに困惑し、Everts-Keller の議論に基づいて、その原因として、Ni-Pd-P が enhanced para であるに対して Pd-Si が弱い para であることが何らかのかわりあいを持っているであろうとしている。注目すべき点である。

[5] 乱雑なポテンシャル中を運動する相互作用する伝導電子による近藤効果

前者の Ni-Pd-P と Pd-Si の違いとして、伝導電子間の相互作用の強さがあると判断して、相互作用と乱雑性を同時に考えて近藤効果を調べた。具体的な計算は、以前に述べた相互作用の高次効果に対するもの⁷⁾ と同様である。

$\kappa \equiv 1 - F/2 = 1 - U/N(0)$ (F は弱局在領域で通常用いられる相互作用の強さ, U と $N(0)$ は Hubbard モデルでの相互作用と状態密度) としたとき ref. 2 で考えられている κ^{-2} の因子が大きくなるこゝがわかつた。Pd-Si では $\kappa \sim 1$ なのに対して Ni-Pd-Si では $\kappa \ll 1$ と考えると実験事実の説明にはなる。しかし、いろいろ検討すべき点もある。

[6] まとめ

乱雑なポテンシャル中で運動する電子による効果は弱局在領域で T^{-2} に比例する異常な項が電子寿命及び電気伝導率に存在する。濃度が下がるか乱雑さが強くなるときの寄与はどうなるのだろうか? このことについてはまだ解答がない。

いろいろ議論に対して大川秀義氏に謝意を表す。

[文献]

- 1) e.g. H. Fukuyama, Electron-electron Interactions in Disordered Systems (North Holland, 1985) ed. A.L. Efros and M. Pollak, p. 155.
- 2) F. J. Ohkawa, H. Fukuyama and K. Yosida, J. Phys. Soc. Jpn 52 (1983) 1701; F. J. Ohkawa and H. Fukuyama, ibid. 53 (1984) 2640.
- 3) H. U. Everts and J. Keller
- 4) K. P. Bohnen and K. H. Fisher, J. Low Temp. Phys. 12 (1973) 559.
- 5) K. Vladar and G. T. Zimanyi, J. Phys. C. 18 (1985) 3739.
- 6) R. Hasegawa, Phys. Rev. Lett. 28 (1972) 1376.
- 7) Y. Isawa and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. 53 (1984) 1415.
- 8) H. Fukuyama, in preparation.