

- 31) D.R. Nelson and B.I. Halperin, Phys. Rev. **B19** (1979), 2457.
- 32) A.P. Young, Phys. Rev. **B19** (1979), 1855.
- 33) H. Shiba, J. Phys. Soc. Japan, **48** (1980), 211.
- 34) T. Ohta, in preparation.
- 35) E. Domany, M. Shick, J.S. Walker and R.B. Griffiths, Phys. Rev. **B18** (1978), 2209.

不規則な状態での局在

— 2次元アンダーソン局在 —

京大・基研 氷 上 忍

ここで取り上げる問題は最近くり込み群の方法で研究されている2次元アンダーソン局在の問題である。金属に不純物を入れると電子は不純物散乱を受けて、電気伝導度にその効果あらわれる。もし不純物がかかなり不規則なポテンシャルをつくれば、電子はそのポテンシャルにつかまって局在し、金属ではなく絶縁体になるとアンダーソンが1958年に言い出したのがそもそもの始まりで、その後多くの研究がなされた。この問題は厳密に言えば一電子が絶対零度で、ポテンシャルが不規則な為にあるエネルギー E_c のところで伝導電子から局在電子に変わる問題である。一般にこのような E_c はモビリティエッジ（易動度端）と呼ばれている。実験的には電子間の相互作用の影響やフォノン励起の為、アンダーソン局在が起こるかどうかははっきりしない。後で述べるが2次元のMOSFETと呼ばれるシリコン表面の電子系や、薄膜の金属でアンダーソン局在が起っていると解釈できることが最近わかってきたので、今後の実験及び理論の発展が期待される。（アンダーソン局在の今までの発展はアンダーソンのノーベル賞講演¹⁾やサウレスの講義録²⁾が参考になる。）

さて、2次元のアンダーソン局在の理論であるが、2次元のハイゼンベルクスピン系の理論と似た所がある。2次元のスピン系は4次元のゲージ理論と似ているので、2次元アンダーソン局在理論は4次元QCD理論と共通した面を持っていると言ってもよい。

くり込み群が適用出来る弱結合を最初に考えることにする。不純物散乱が弱い時には、以前に超伝導の不純物効果の問題で考えられたように、摂動論でボルン近似をつかって考えられる。注目する点は、この一つの電子が不純物散乱によって拡散モードがどうなるかということである。拡散モードはゴールドストーンモードと見る事が出来て、スピン波と類似させるとわか

氷上 忍

りやすいかもしれない。2次元ハイゼンベルグ模型に相転移が有限温度でないのはマーミン・ワグナー（コールマン）の定理によるが、あるとすればスピン波の為に $\log$ 発散を生ずる。このことは局在の問題でも同じで、拡散モードがあるとする金属から（弱結合）の取り扱いで量子効果に相当する1ループのダイアグラムの計算で $\log$ 項を得る³⁾。この対数発散はくりこみ群で解決できると期待されるが、実際に2ループまでそうなることがわかる⁴⁾。さらに、同等なくくりこみ可能なシグマ模型が考えられる⁵⁾ので、問題はくりこみ群のベーター函数をいかに計算するかということになる。計算結果は想像されるように、QCDや2次元ハイゼンベルグスピンの場合と同じに、漸近的自由で、金属であるとしたのは正しくない答で、正しくは絶縁体（電子の閉じ込め）で、2次元では小さなポテンシャルの乱れがあればアンダーソン局在が起こることを示している。1次元では厳密に局在する解が得られるので、1, 2次元では局在し、 $2+\epsilon$ 次元でモービリティエッジがあらわれると考えられる。（ここではポテンシャルがスピンを持たないとしているが、例えばもしスピン軌道相互作用が強ければ β -函数の係数の符号が変わり2次元でもモービリティエッジが存在する⁶⁾）

この弱結合の摂動計算は他のQCDや2次元スピン系のようにdisorder相（高温相又は結合相、アンダーソン局在の問題では局在相）の様子を正しく予測するのはもちろん困難である。この局在状態は電子の波動函数が局在することを意味するので、直観的にわかりやすく思えるが、クォークの閉じ込めと同じところがあつて難しい問題のようである。

強結合の局在しているとして出発するのは、スピン系の高温展開や格子ゲージ理論と同じで、計算機実験で可能であるが、計算機実験では有限系であるためにスケーリングに注意する必要がある。

最後に、2次元のMOSFETで実際にアンダーソン局在が起こっていると思われるのは興味がある。負の磁気抵抗⁷⁾がここで説明した弱結合の理論でかなりよく説明されることをあげて終わりとする。

参 考 文 献

- 1) P.W. Anderson, Rev. Mod. Phys. **50** (1978) 191.
- 2) D.J. Thouless, "Les Houches Summer School, 111 condensed matter".
- 3) E. Abrahams et al. Phys. Rev. Lett. **42** (1979) 673.
- 4) L.P. Gorkov, A.I. Larkin and D.E. Khmel'mtskii, Sov. JETP Lett. **30** (1979) 228.
- 5) F.J. Wegner. Z. Phys. B35 (1979) 207.
- 6) S. Hikami, A.I. Larkin and Y. Nagaoka, Prog. Theor. Phys. **63** (1980) 707.
- 7) Y. Kawaguchi and S. Kawaji, J. Phys. Soc. Japan Letters **48** (1980) 699.