アンダーソンモデルの厳密解の問題点

東大・物性研　　　大川房義

s-dハミルトニアン,[1] アンダーソンハミルトニアン[2,3] をBethe Ansatzの方法で厳密に解くという試みが成功を収め，希薄合金の磁性，近藤効果はほぼ完全な理解が得られる段階になった。この段階で問題点というのも奇妙な話であるが，問題提起という意味で次の議論を行う。

厳密解によって計算される物理量には2つのクラスがある。ひとつは不純物のオーダーの物理量であり，近藤効果では通常このクラスの物理量のみ議論すれば十分である。又，計算しようと思えばシステムサイズのオーダーの物理量も計算できる。ここでは，Lをシステムサイズとして，前者を$O(1/L)$のオーダーの物理量，後者を$O(1)$の物理量と呼ぶことにする。ここで議論する問題点とは，通常は議論する必要のない$O(1)$の物理量である。問題点を明確にするため，$U<0$のアンダーソンハミルトニアンをとり，対称的な場合，$U+2\varepsilon_d=0$，に限定する。ここで，フェルミ準位をエネルギーの原点にとり，ε_dは局在準位の深さ，Uは局在電子間のオンサイトのクーロン相互作用である。

quasi-momenta kについては実数と限定すると，その分布について解くべき積分方程式は

$$2\pi\rho(k) = 1 + \frac{1}{L}\frac{2\Delta}{(k-\varepsilon_d)^2+\Delta^2} - \int_B d\Lambda \frac{ck^2\sigma(\Lambda)}{(k^2-\Lambda)^2+(c/2)^2},$$

$$\int_B d\Lambda' \frac{c\,\sigma(\Lambda')}{(\Lambda-\Lambda')^2+c^2} + \pi\sigma(\Lambda) = \int_Q dk \frac{(c/2)\rho(k)}{(k^2-\Lambda)^2+(c/2)^2},$$

ここで，$c=|UV^2|$，$\Delta=\frac{1}{2}V^2$ であり，エネルギーE，電子数Nは次で与えられる。

$$\frac{E}{L} = \int_Q dk\, k\rho(k), \qquad \frac{N}{L} = \int_Q dk\, \rho(k).$$

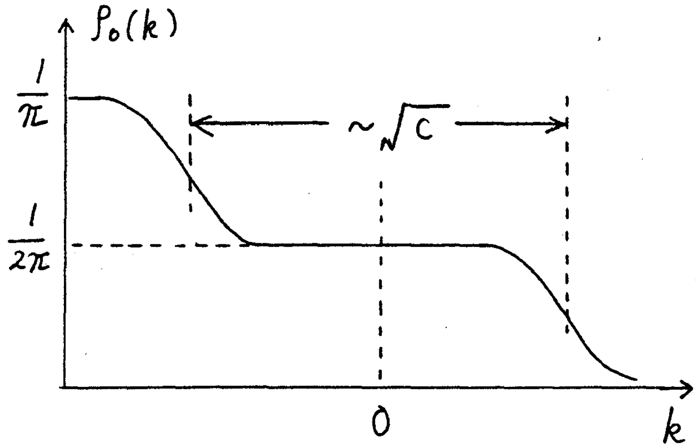
基底状態については，積分範囲は $Q=\{-\infty<k<\infty\}$，$B=\{-\infty<\Lambda<\infty\}$ である。

$O(1/L)$のオーダーのエネルギーに関しては，知られている正しい答と一致する。問題は$O(1)$のエネルギーである。まず，quasi-momenta kの$O(1)$の分布を議論しよう。

$$\rho_0(k) = \frac{1}{2\pi}\left(1-\frac{k}{|k|}\right) + \frac{k}{\pi c}\int_0^\infty dx\, \mathrm{cosech}\left[\frac{\pi(x^2+k^2)}{c}\right]$$

$O(1)$の分布は，上の様に計算でき図示すると1図の様になる。すなわち$|U|$の増加に伴い，フェルミ準位付近の分布がぼけて，低いエネルギー状態の電子が高いエネルギー状態に移っている。このため，$O(1)$のオーダーの全エネルギーは

$$\Delta E = \frac{1}{16}\left|UV^2\right|$$



(1 図)

と1個不純物が入ったため増加する。

1個の不純物が入ったために、全系の物理量にも、その効果が現われるというのが、ここでいう問題点である。$U>0$ のアンダーソンハミルトニアン、s-d ハミルトニアンにも同じ問題点があるが、この場合にはUに依存したバンドのカットオフ, $D(U)$, を導入して、この問題を解決している。[4] $U<0$ のアンダーソンハミルトニアンでは、Uに依存したバンドのカットオフでは解決できない様に思える。

この問題点に関しては、又一方で、ここで用いたBethe Ansatzの枠組の中では、$O(1/L)$の物理量に関しては正解を与えるが、$O(1)$の物理量に関しては議論すべきでないという考え方もあると思うが,[5] 真実はどうなのであろうか。

《引用文献》

1) N. Andrei : Phys. Rev. Lett. 45 (1980) 379.

2) P.B. Wiegmann : J. Phys. C. Solid State Phys. 14 (1981) 1463.

3) N. Kawakami and A. Okiji : Phys. Lett. 86A (1981) 483.

4) N. Andrei, K. Furuya and J. H. Lowenstein : Rev. Mod. Phys. 55 (1983) 331.
§3.(B) でカットオフの問題について論じている。

5) N. Andrei : 私信。(少くとも, 1982年 京都ICMの時は, この意見だった。)