s—d相互作用における発散について

近　藤　　淳（電試）*

（８月１５日受理）

s—d相互作用による有限温度のときの発散については、しばらく前に議論されたが、その後すこし考えてみて問題の所在ははつきりしたように思うのでのべてみたい。

$S=\frac{1}{2}$の場合の帯磁率について考える。S_z の熱平均をとる場合にまずフェルミ分布について平均し、次にボルツマン分布について平均する。$S_z=\frac{1}{2}$ の状態を無摂動状態とすると、これに $S_z=-\frac{1}{2}$ の状態が交換相互作用によつて混るために S_z の平均はへる。

$$\langle S_z\rangle_{1/2}=(1/2)-(J/N)^2\Sigma_{kk'}f_k(1-f_{k'})/(\varepsilon_k-\varepsilon_{k'})^2 \quad (1)$$

$S_z=-\frac{1}{2}$ を無摂動とした場合、$\langle S_z\rangle_{-\frac{1}{2}}$は上式の符号をかえたものになる。そのため $H=0$ のときは両者の平均は０となる。しかし磁場があると両者の比重が異なる。上式の和を積分でおきかえたものは発散するから帯磁率に発散が現われるというのが筆者の議論であつた。発散はエネルギーが保存する状態から起るが、エネルギーの殆んど等しい状態がまざるのは時間がかかり系の寿命より長い時間かからなければ混らないような状態は(1)の和から除外すべきである。そこで上式の分母にコリンハのメカニズムからくるゼーマンレベルの幅Γを加えてこの発散をとめる。

$$\langle S_z\rangle_{\frac{1}{2}}=(1/2)-(J/N)^2\Sigma_{kk'}f_k(1-f_{k'})/\{(\varepsilon_k-\varepsilon_{k'})^2+\alpha^2\Gamma^2\}$$
$$=(1/2)-(2\pi J^2\rho^2kT/\alpha\Gamma) \quad (2)$$

---

* 現在ベル電話研究所に在職中

近藤　淳

ここにαは1の程度の量で$kT \gg \Gamma$として$(\Gamma/kT)^{-1}$の量だけとり$(\Gamma/kT)^{0}$は省略した。コリンハによれば$\Gamma = 2\pi J^2 \rho^2 kT$だから

$$\langle S_Z \rangle_{\frac{1}{2}} = (1/2) - (1/\alpha) = -\langle S_Z \rangle_{-\frac{1}{2}}$$

故に熱平均は

$$\langle S_Z \rangle = \{(1/2) - (1/\alpha)\} \tanh(\mu H/hT) \tag{3}$$

これが前にえた結果であるが三輪氏によるとこのような発散は打消される。上の議論では磁場の影響をボルツマン分布にしか考慮していなかつた。しかしvan Vleck の paramag に相当する効果がある。即ち磁場があるときは

$$\langle S_Z \rangle_{\pm 1/2} = \pm(1/2) \mp (J/N)^2 \Sigma_{k\,k'} \cdot f_k(1-f_{k'}) / \{(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_k \pm 2\mu H)^2 + \alpha^2 \Gamma^2\}$$

$$= \pm(1/2) - (2\pi J^2 \rho^2\, 2\mu H/\alpha\Gamma)(e^{\pm 2\mu H/kT} - 1)^{-1} \tag{4}$$

$\langle S_Z \rangle_{1/2}$に$e^{\mu H/kT}$をかけ$\langle S_Z \rangle_{-1/2}$に$e^{-\mu H/kT}$をかけて加えると$\Gamma^{-1}$の項は消えてしまう。ここで$\Gamma$は発散を一応とめるだけの役しかしていないから、無限小の量でよく系の有限の寿命を考慮する必要はないというのが三輪氏の議論（を私なりに解釈したもの）である。この議論はたしかにこれで成立つているが、もう一つの議論も成立つように思う。

即ち磁場があるときはΓも磁場によつて変化する。

$$\Gamma(\pm 1/2 \rightarrow \mp 1/2) = 2\pi J^2 \rho^2 \iint \delta(\varepsilon' - \varepsilon \pm 2\mu H)\, f(1-f')\, d\varepsilon\, d\varepsilon'$$

$$= \pm 2\pi J^2 \rho^2\, 2\mu H (e^{\pm 2\mu H/kT} - 1)^{-1} \tag{5}$$

$\Gamma(\frac{1}{2} \rightarrow -\frac{1}{2})$を$\langle S_Z \rangle_{1/2}$の$\Gamma$にいれて$e^{\mu H/kT}$をかけ、$\Gamma(-\frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{2})$を$\langle S_Z \rangle_{-\frac{1}{2}}$の$\Gamma$にいれて$e^{-\mu H/kT}$をかけて加えると再び(3)をうる。

結局、はじめから幅を無限小と考えてもそれなりの答がえられるし、有限と考えても別の答をうる。問題はどちらが正しいかということになるが現在のところ判つていない。