

Hall 効果 の 話

東大理 和田 靖

まだ多体問題にもなっていない話であるが、最近、福山秀敏、海老沢丕道両君と始めた仕事を紹介する。仕事の目的は相関のある体系での Hall 効果を systematic に議論する方法を見出すことである。簡単な場合として振動数 ω で空間的に一様な弱い電場と、static で空間的に波数 k で波打っている弱い磁場があるとする。磁場を始めから一様にしておかない事が大切である。conductivity tensor に対する linear response の式を vector potential で展開して一次の項をとると

$$\sigma_{\mu\nu}(k\omega) = \frac{1}{i\omega} \sum_{\lambda} K_{\mu\nu}^{\lambda}(k\omega) A_{\lambda}(k)$$

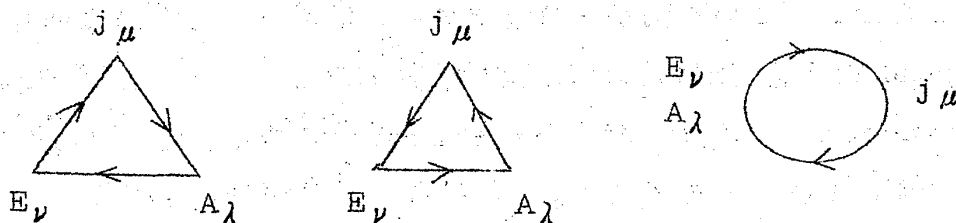
$$K_{\mu\nu}^{\lambda}(k\omega) = -\frac{1}{V} \int_0^{\beta} d\tau d\tau' e^{i\omega_0 \tau} \left[\frac{1}{C} \langle T \rho_0 j_{\lambda}(-k\tau') \right.$$

$$j_{\mu}(k\tau) j_{\nu}(00) \rangle - \frac{e\delta_{\lambda\nu}}{mc\beta} \langle T \rho_0 j_{\mu}(k\tau) \rho(-k0) \rangle \Big]$$

$$i\omega_0 = -\hbar\omega + i0_+$$

となる。ここで V は体積、 $\beta = \frac{1}{k_B T}$ 、 j_{λ} etc は imaginary time での paramagnetic current density、 ρ は charge density、 ρ_0 は磁場のないときの density matrix である。 $i\omega_0 = -\hbar\omega + i0_+$ は、まず $\omega_0 = 2n\pi/\beta$ として求めたものを実軸へ上半面から解折接続することを示す。 T は imaginary time での time ordered product を指定する。

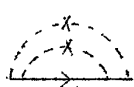
一番簡単な場合として impurity が random にある場合を求めてみる。vertex の補正を考えなければ



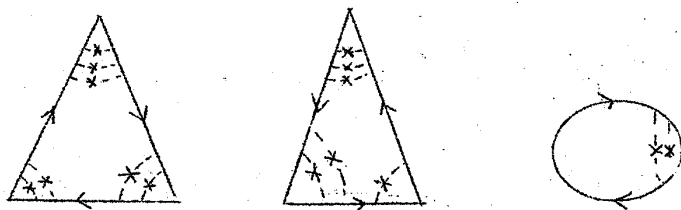
という三つの diagram に対応する項を計算すればよく、波数 K の小さい limit で

$$\sigma_{\mu\nu} = \frac{\ell^3 n}{m^2 c (\omega - \frac{i}{\tau})^2} (ik_{\mu} A_{\nu} - ik_{\nu} A_{\mu})$$

という gauge 不変な結果を得る。 n は electron の number density, τ は電子不純物衝突 mean free path に関係した時間である。vertex の補正の入れ方は Green 関数に対する近似と consistent でなくてはならぬ。Gauge 不変性をみたすことを条件にして consistency を調べると, self



energy part が, 左図のようなものをとる近似では, vertex に対する補正は



と ladder 型でよいことが判った。但し impurity potential が δ 型の時にはこの補正は利かない。

上記の方法は福山君によって random lattice の場合に應用された。model は Yonezawa-Matsubara のものと同じである。結果は chemical potential が十分大きく Fermi 面が main band の中にある Fermi liquid theory が成立つときは通常の結果に reduce するが, impurity band の中に Fermi 面があって, impurity band と main band が十分離れているときは Hall 係数は定符号をもつ。Fermi 面の位置によって符号変化はおこらない。この結論が先の松原先生の結論と同じなのは興味深い。Bloch band の場合と異なるのは, 今の場合 self energy part が momentum dependent でなく energy dependent である点で, この性質が結論に大きく利いているようである。