2023 年秋学期　Kittel 「固体物理学入門」　第 10 回大学院講義

第 6 章　自由電子フェルミ気体　(第 3 回目)

　第 6 章では，数か所にわたり実験との比較がある。今日は自由電子フェルミ気体の第 3 回目である（読むだけでもよい)。次の章は，第 8 章 半導体である。ォノンの第 4,5 章は時間があれば最後の 2 回で読もう。

金属の電気抵抗率の実測値　p.158

　電気抵抗は，金属は 300 K では，伝導電子と格子フォノンの衝突
　緩和率により標準状態に戻る

$$\frac{1}{\tau}=\frac{1}{\tau_L}+\frac{1}{\tau_i}$$

フォノンによる散乱 ＆ 格子の不完全性による散乱

フォノン（第 4,5 章は最後に）

　図 11　金属の電気抵抗　格子による不規則な電子の散乱

　全体の抵抗

$$\rho=\rho_L+\rho_i$$

(i)フォノンのよる抵抗

(ii)電子波が格子欠陥によって散乱される抵抗

　欠陥の濃度が低い場合は，

ρ_L　欠陥の数によらない

ρ_i　温度によらない

マティーセンの規則

図 12　K の電気抵抗

温度が 10 K 以下のとき一定値に　$\sim 10^{-6}\,\Omega\mathrm{cm}$

試料が異なると違う値になる

$\rho_i(0)$　残留抵抗率　抵抗率の測定値をゼロに外挿した値。格子欠陥による

$T\to 0$　$\rho_L\to 0$　である

ウムクラップ散乱　p.162

フォノンによる電子の散乱（5 章）と異なり，電子・フォノン散乱の逆格子ベクトル G が関与する。

通常の散乱より大きい　$G\geq R$（粒子間距離）

図 13　フォノンの umklapp 散乱の図

磁場内の運動　p.162

$$\hbar\left(\frac{d}{dt}+\frac{1}{\tau}\right)\delta\mathbf{k}=\mathbf{F}$$

$\delta\mathbf{k}$ の運動方程式　　外力 F と頻度 $1/\tau$ の衝突の摩擦力

τ　衝突時間

一様な磁場 B について

$$\mathbf{F}=-e\left(\mathbf{E}+\frac{\mathbf{v}}{c}\times\mathbf{B}\right)$$

$m\mathbf{v}=\hbar\mathbf{k}$ より，運動方程式は，

$$m\left(\frac{d}{dt}+\frac{1}{\tau}\right)\mathbf{v}=-e\left(\mathbf{E}+\frac{\mathbf{v}}{c}\times\mathbf{B}\right)$$

一様な磁場が z 軸を向いているとき，各成分は

$$m\left(\frac{d}{dt}+\frac{1}{\tau}\right)v_x=-e\left(E_x+\frac{v_y}{c}B\right),$$

$$m\left(\frac{d}{dt}+\frac{1}{\tau}\right)v_y=-e\left(E_y-\frac{v_x}{c}B\right),$$

$$m\left(\frac{d}{dt}+\frac{1}{\tau}\right)v_z=-eE_z$$

定常であるとき $d\mathbf{v}/dt=0$ を使うと，

サイクロトロン周波数　$\omega_c=eB/mc$

$$v_x=-\frac{e\tau}{m}E_x-\omega_c\tau v_y,\quad v_y=-\frac{e\tau}{m}E_y+\omega_c\tau v_x,\quad (52)$$

$$v_z=-\frac{e\tau}{m}E_z$$

ホール効果　p.164

ホール電場　$\mathbf{j}\times\mathbf{B}$ 方向に発生する電場

図 14　縦方向 Ex の電場　横方向 Bz の磁場

Ex, Bz に対して，Ey のみ可能　ホール電場という

もし電流が y 方向に流れないとすると（$v_y=0$），(52) から

$$E_y = -\omega_c \tau E_x = -\frac{eB\tau}{mc} E_x$$ の関係が成り立つときのみ可能

$$\boxed{R_H = \frac{E_y}{j_x B}}$$

ホール定数 Hall coefficient
ホール抵抗，は別物。

$j_x = ne^2 \tau E_x / m$ 　(52)　より，

$$R_H = -\frac{eB\tau E_x / mc}{ne^2 \tau E_x B / m} = -\frac{1}{nec} < 0 \quad (55)$$

密度が小さい -> ホール定数は大きくなる。

表 4　ホール定数の測定値と自由電子モデルの比較
よくあっている？
Na, K 伝導電子を 1 個として，よく一致。
Al, In　　1 原子あたり 1 個の正電荷のキャリアーとして一致，
エネルギーバンド（7－9 章）

金属の熱伝導率　p.166

フェルミ気体の熱伝導率

速度 v，比熱 C，自由行程 l
第 5 章フォノン II より

$$K = \frac{1}{3} Cvl$$

電子の比熱(36)を使う

$$C_{el} = \frac{\pi^2}{2} N k_B (T / T_F)$$

$$k_B T = \frac{1}{2} m v_F^2,$$

$$K_{el} = \frac{\pi^2}{2} n k_B T \frac{k_B}{3 \bullet \frac{1}{2} m v_F^2} v_F l = \frac{\pi^2}{3} \frac{n k_B^2 T}{m v_F^2} v_F \bullet v_F \tau = \frac{\pi^2}{3} \frac{n k_B^2 T \tau}{m}$$

純粋な金属では，すべての温度で電子が支配的である。

熱伝導率と電気伝導率との比　p.167

ウィーデマン・フランツの法則

金属の熱伝導率と電気伝導率の比は温度に比例する。

その比例定数は金属には依らない。

(43)と(56)により，

$$\frac{K}{\sigma} = \frac{\pi^2 k_B^2 Tn\tau / m}{ne^2 \tau / m} = \frac{\pi^2}{3}\left(\frac{k}{e}\right)^2 T \quad (57)$$

この比は，２つの温度でほぼ一定（変わらない）　表５