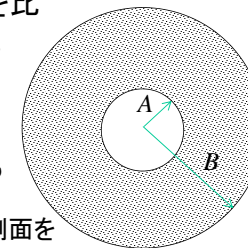


電磁気学II

1. 電磁気学Iのおさらい
2. 電流と電流密度
3. オームの法則
4. 金属電子論
5. 準定常電流
6. 電流間に生じる力と磁場
7. ローレンツ力
8. 電流が作る磁場
9. アンペールの法則
10. 前半のまとめと確認
11. 磁束と電磁誘導
12. 自己インダクタンスと相互インダクタンス
13. 磁場のエネルギー
14. 交流回路と複素インピーダンス
15. まとめ

前回の復習

半径 A と半径 B ($A < B$)で、長さ L の円筒電極の間を比抵抗 ρ の電解液で満たしたものの抵抗を求めよ。



- 1) A を正極、 B を負極とした時、電極を上から見たとき電流の向きを矢印で右図に図示せよ。
また、半径 r の円筒($A < r < B$)の側面を上から見た様子も同じ図に点線で書き入れよ。
- 2) 円筒 r ($A < r < B$)の側面上での電流密度 $j(r)$ を、円筒の側面を貫く全電流 I を用いて表せ。
- 3) 中心からの距離 r における電場の強さ $E(r)$ を I, r, L, ρ の関数として表せ。
- 4) $r = A, B$ の電極間の電位差を求めよ。但し、 $1/r$ の不定積分は $\log r$ である。
- 5) 電気抵抗 R を求めよ。

電気伝導のミクロな機構

Ballistic Transport (弾道的輸送)

→ 抵抗が無い場合 (真空中の電子)



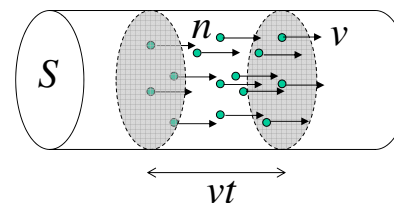
$$m \frac{dv}{dt} = -eE$$



$$v = -\frac{eE}{m} t$$

時間とともに電子の速度が増加

電流と電子の速度



断面積 S を時間 t の間に通過する密度 n の電子数:

$$N = nSvt$$

電流:
$$I = -\frac{Ne}{t} = -neSv$$

電流密度:
$$j = \frac{I}{S} = -nev$$

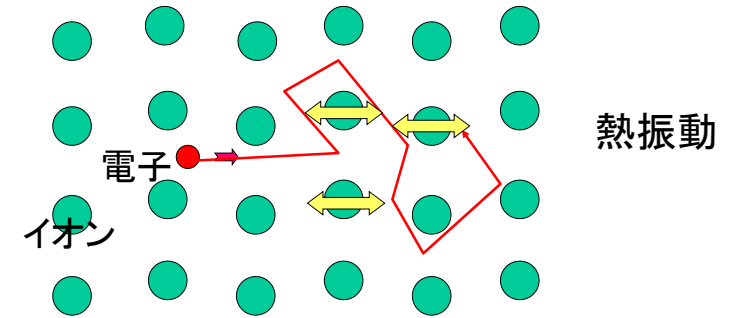
弾道的輸送の場合

$$v = -\frac{eE}{m}t$$

$$j = -env = \frac{ne^2}{m}Et$$

時間とともに電流が増える???

金属中の電子の運動



$$m \frac{dv}{dt} = -eE - \beta v$$

「摩擦」

定常電流 = 時間変化しない

$$m \frac{dv}{dt} = -eE - \beta v = 0$$

→ 平均速度: $v = -\frac{eE}{\beta}$

$$\left[\beta = \frac{m}{\tau} \quad \text{平均衝突時間: } \tau \right]$$

$$j = -env = \frac{ne^2\tau}{m}E$$

$$j = -env = \frac{ne^2\tau}{m}E$$



$$j = \sigma E = \frac{1}{\rho} E \quad \text{オームの法則}$$

$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau}$$

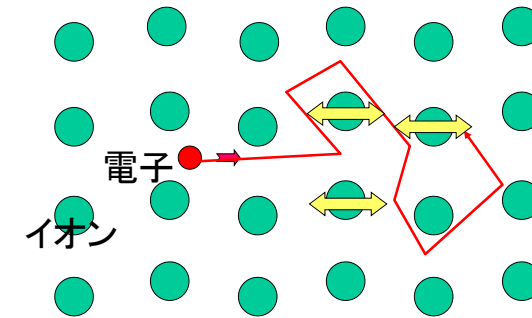
$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

銅(室温)

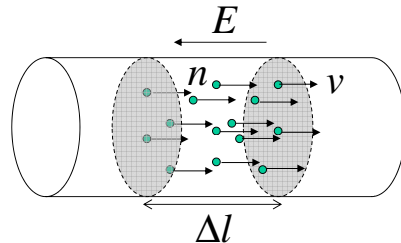
比抵抗: $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ 電子密度: $n = 8.4 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 電子質量: $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 電子素電荷: $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ → 平均衝突時間: $\tau = 2.5 \times 10^{-14} \text{ s}$

電流の熱作用

金属中の電子の運動

衝突による電子のエネルギーの減少分
= 熱エネルギー

→ ジュール熱

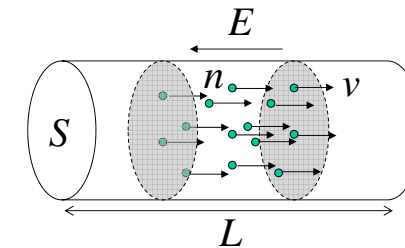
電場 E から F の力を受けている1つの電子が Δt の時間の間に Δl だけ動いた時の仕事 ΔW

$$\Delta W = F\Delta l = -eEv\Delta t$$

単位体積あたりの仕事率 w

$$w = \frac{n\Delta W}{\Delta t} = -nevE = Ej = \sigma E^2 = \rho j^2$$

→ ジュール熱

断面積 S 、長さ L の導線全体からの単位時間当たりの発熱量 P は、体積が SL なので

$$P = wSL = EjSL = LEjS$$

導体内で、電場、電流が一樣ならば、両端電圧 V および電流 I は、 $V = LE$ 、 $I = jS$ だから、

$$P = VI = RI^2 \quad \rightarrow \quad \text{ジュール熱}$$

単位: $W(\text{ワット}) = J/S$

演習問題 解いてみましょう

長さ L 、断面積 S の太さが一定で一様な金属棒の両端に V の電圧を加えたとき、定常電流 I が流れた。

- 1) 金属棒の電気抵抗を R としたとき、オームの法則を書け。
- 2) 金属棒内の電場 E を V と L で書け。
- 3) 電子の電荷を $-e$ 、質量を m とすると、電子が電場から受ける力 F を書け。
- 4) 電子の初速度がゼロとして、電場により t 秒後に電子の速度 v はいくらになるか。
- 5) 実際の金属中では、電場の力 F と速度に比例する抵抗力 $f=\beta v$ がつりあう。平均の速さ u を求めよ。
- 6) 電子の密度を n 、平均の速さを u として、単位時間に断面積 S の金属中を流れる電流 I を求めよ。
- 7) V を用いて電流 I を書け。
- 8) オームの法則と比較して、 R を e, β, n, S, L を用いて表せ。
- 9) 抵抗 R を比抵抗 ρ 、長さ L 、断面積 S を用いて書け。
- 10) 平均衝突時間を τ とする時、 $\beta = m/\tau$ として、比抵抗 ρ を求めよ。