

'02 慶応義塾大学

以下の文章の空欄(ア)~(コ)に入る適切な語句を文末の選択肢から選べ。また、(1)~(5)の空欄には数値または数式を入れよ。

金属の近くに電荷を置くと、金属のもつ自由電子が移動し、電場を打ち消すように金属表面に電荷が分布する。この現象を [ア] とよび、このとき金属は [イ] にある。また、金属内に空洞があるとき、その内部には外部から [ウ] が侵入しないので、ラジオを [エ] で包むと放送が聞こえなくなる。

一方、電位差を与えるような装置である [オ] を金属に接続すると、金属内部に電場が発生し、電流が流れ続ける。

長さ L 、断面積 S の金属円柱の両端に電位差 V を与えたときの電流 I について考察する。電場は円柱の中心軸に平行で、内部では一様とみなしてよい。電流密度 J を

$J = \frac{I}{S}$ で定義すると、金属内の電場 E と J との間には、比例関係

$$J = \sigma E \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

が成り立つ。この関係をオームの法則とよび、比例係数 σ は導電率とよばれる。

通常、電気回路で使うオームの法則

$$V = RI \quad \dots\dots \textcircled{2}$$

は式①を変形して得られる。すなわち、金属円柱内での電場は $E = \frac{V}{L}$ であるから、

式①を $V = \text{[1]}$ と変形し、 $R = \text{[2]}$ とおけば、式②が得られる。

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ を抵抗率ともよぶ。

電流を金属中の自由電子の運動から解釈してみよう。金属中で熱運動する自由電子は、箱に閉じこめられた気体分子の熱運動と同じく、でたらめな運動を行う。したがって、一定時間に断面積 S を通過する互いに反対向きの電子の個数は等しいから、電流は 0 である。ところが、金属内に電場があるときには、個々の電子は金属中で散乱されながら、全体として電場と [カ] 向きに動いていく。そのときの速度をドリフト速度とよぶ。単位体積当たりの自由電子の個数を n 、ドリフト速度を v_D 、電子の電荷を $-e$ とすると、電流密度は $J = -nev_D$ で表される。

例として、断面積 1.0 mm^2 の銅線に 1 A の電流が流れているときの電子のドリフト速度を求めてみよう。 1 個の銅原子が 1 個の自由電子を供出し、銅の密度を 9.0 g/cm^3 、原子量 63 、アボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ 、電気素量 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とすると、 $v_D = \text{[3]} \text{ m/s}$ となり、人が歩く速さよりもずっと遅いことが分かる。

'02 慶応義塾大学

次に、ドリフト速度の意味を考える。熱運動する多数の電子は一定時間 τ ごとに金属イオンや不純物原子と衝突し [キ] に散乱されるものと仮定すると、散乱直後の平均速度は 0 である。金属内の電場 E は、質量 m 、電荷 $-e$ の電子に加速度を与える。散乱後、時間 τ だけ加速されると電子の平均速度は [4] に達するが、そこで再び散乱されて平均速度は 0 に戻る。したがって、このモデルによれば、金属中での電子の平均速度、すなわち、ドリフト速度は $v_D = -\frac{eE\tau}{2m}$ となり、 $\sigma =$ [5] が得られる。熱運動する電子の速さはドリフト速度に較べて何桁も大きいので、時間 τ は電場によってほとんど変化しない。したがって、以上の議論から導電率は [ク] 固有の値であることが予想できる。

温度の上昇とともに原子の振動が激しくなると、 τ が [ケ] すると考えられるから、抵抗率が增大するはずである。抵抗率の温度変化は [コ] 測定に応用される。

【選択肢】 (50 音順)

圧力 アルミホイール イオン化 同じ 温度 音波 逆の 金属円柱
 減少 コイル 勾配電位 後方 最高 最低 磁場 消磁 振動
 垂直な 静電位 静電誘導 前方 増大 ダイオード 単調変化
 抵抗 電磁誘導 電池 電場 電離作用 等電位 等方的 物質
 変化 ポリエチレンフィルム 密度 無関係な 無機物 誘電体フィルム