電磁気学第二*

百生敦教員

1. 下記の文章の空欄を適切な語句で埋めよ.
   (a) 孤立導体に外部電荷を近づけると, 導体の電荷分布が変化して正や負の電荷の偏りが生じる. この現象を (a) と呼ぶ. 電荷の移動は, 導体表面の至るところで (b) が等しくなるように決まる. 外部電荷と導体の間には常に (c) が働く.
   (b) 誘電体が電場 $\boldsymbol{E}$ を感じていると, $\boldsymbol{P} = \epsilon_0 \chi \boldsymbol{E}$ で与えられる電気分極 $\boldsymbol{P}$ が発生する. χ を (d) と呼ぶ. 線形媒質では, その誘電率 ϵ は $\epsilon =$(e) と χ を使って表わされる.
   (c) 誘電体界面において, 電場の (f) 成分, および電束密度の (g) 成分は連続である.
   (d) 磁性体自体が持つ磁気双極子モーメントの起源として, (h) 角運動量と (i) 角運動量に由来するものがあり, (j) 性や (k) 性の性質をもたらしている. 外部磁場があるときは, (l) によって微視的な電流が流れ, 磁気双極子モーメントが生ずる. この性質を (m) 性と呼ぶ.
   (e) $\boldsymbol{E} \times \boldsymbol{H}$ は電磁波の (n) の密度を, $\boldsymbol{D} \times \boldsymbol{B}$ は電磁波の (o) の密度を表す. 光が物質によって吸収されるとき, (o) の変化を伴うので, 物質には (p) 圧が働く.
   (f) (q) 関数は, 電場の (r) に依存して物質の (q) 率が変わることを考慮したものであり, 一般に複素数である. その虚数部がわかっていれば, その実数部を (s) 変換によって求めることができる.
   (g) 異方性媒質では誘電率は (t) 量となり, その中に存在する光の (u) と電場は必ずしも平行ではない. したがって, (v) ベクトルとポインティングベクトルも一般には平行ではない.
   (h) K 系にある誘電体を K 系に対して速度 v で等速直線運動する K' 系で観測する. 誘電体の電気分極 $\boldsymbol{P}$ と v が (w) であれば特別な違いは観察されないが, それ以外の場合では (x) が観測される.
2. 直径 $0.10mm$ の銅線に $10mA$ の電流を流す. キャリア (電子) の平均速度を求めよ. 銅原子一個あたりのキャリアは一個とする. なお, 銅の比重を 9.0, 原子量を 64, アボガドロ数を 6.0×10^{23} とせよ.
3. 半無限導体の平らな表面から外側に距離 a の位置に点電荷 q がある. 半無限導体の外側は真空として, 真空の誘電率を ϵ_0 とする. x 軸を表面の法線方向にとって下記の設問に答えよ.
   (a) 導体表面 (y-z 面) 上の誘導電荷分布を求めよ.
   (b) 点電荷が受ける力の大きさと方向を求めよ.
4. 物質中の Maxwell 方程式から, ベクトルポテンシャル $\boldsymbol{A}$ およびスカラーポテンシャル ϕ に対して, ローレンスゲージを用いて

$$\Box \boldsymbol{A} = -\mu_0 (\boldsymbol{j} + \frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial t} + \mathrm{rot} \boldsymbol{M})$$

* 2007 年度夏学期実施分.

$$\Box\phi = -\frac{1}{\epsilon_0}(\rho - \mathrm{div}\boldsymbol{P})$$

が成り立つことを導け．$\boldsymbol{P}$ および $\boldsymbol{M}$ は電気分極および磁化であり, $\boldsymbol{j}$ および ρ は電流密度および電荷密度である．ϵ_0 および μ_0 は真空の誘電率および真空の透磁率である．また, 右辺はポテンシャルの起源を表すが, それぞれの項 ($\boldsymbol{j}$ および ρ 以外) の物理的意味を述べよ．

5. 誘電率 ϵ, 透磁率 μ, および導電率 σ を持つ一様な導体中の電磁波を考える．
   (a) 導体中の電磁波の電場成分 $\boldsymbol{E}$ について, Maxwell の方程式とオームの法則 ($\boldsymbol{j} = \sigma\boldsymbol{E}$) から,

   $$(\nabla^2 - \mu\sigma\frac{\partial}{\partial t} - \epsilon\mu\frac{\partial^2}{\partial t^2})\boldsymbol{E} = \boldsymbol{0}$$

   が成り立つことを示せ．
   (b) 電場が x 軸方向に直線偏光した電磁波が z 軸方向に進んでいる．波数を k, 角振動数を ω として, この電場成分が $E(z,t) = E_0 \exp[i(kz - \omega t)]$ と表わされるとする．$\sigma \gg \epsilon\omega$ であれば, $k \approx (1+i)/\delta, \delta \equiv \sqrt{2/\mu\sigma\omega}$ であることを示せ．
   (c) この状況で, y 軸方向に値を持つ磁場成分が,

   $$H(z,t) = \sqrt{\frac{\sigma}{\mu\omega}}E_0 e^{-z/\delta}\exp[i(\frac{z}{\delta} - \omega t + \frac{\pi}{4})]$$

   で与えられることを示せ．