

電磁気学第二 期末試験

百生敦 准教授

2009 年 7 月 27 日

1. 下記の文章の空欄 [a] ~ [ff] に入る適切な語句を与えよ。

- (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] 誘導と呼ぶ。電荷の移動が安定・停止した状態で生じる [b] 電場は、導体 [c] で外部電荷による電場と相殺する。これは、[b] 電荷が導体 [d] のみに現れるとも表現できる。
- (b) 導体内に中空領域があるとき、外部電場を与えても中空領域に電場は現れない。これを [e] と呼ぶ。
- (c) 誘電体が電場 E を感じて分極 P を発生させている。分極 P 自身により、誘電体内部では $E_P = -NP/\epsilon_0$ なる [f] 電場が誘起される。誘電体が球体であるとき、 N の値は [g] である。
- (d) 電気分極の起源には、緩和の遅い順から、[h] 分極、[i] 分極、[j] 分極がある。一般に [h] 分極には復元力がなく、[k] 緩和に従う。
- (e) [l] 関数は、電場の振動数に依存して物質の [l] 率が変わることを考慮したものであり、一般には複素数である。その虚数部の周波数依存性が判っていれば、その実数部を [m] 変換によって求めることができる。
- (f) 磁性体界面において、磁場 H の [n] 成分、および磁束密度 B の [o] 成分は連続である。
- (g) 磁性体自体が持つ磁気双極子モーメントの起源として、[p] 角運動量と [q] 角運動量に由来するものがあり、[r] 性や [s] 性の性質をもたらしている。外部磁場があるときは、[t] 誘導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じ、外部磁場と反対方向の磁場を発生させる。この性質を [u] 性と呼ぶ。
- (h) 強誘電体では電気双極子どうしの電氣的相互作用で [v] 分極が発生する。強誘電体では、磁気双極子どうしの [w] 相互作用で [v] 磁化が発生する。
- (i) $E \times H$ は電磁波の [x] の密度を、 $D \times B$ は電磁波の [y] の密度を表す。光が物質によって吸収・反射されるとき、[y] の変化を伴うので、物質には [z] 圧が発生する。
- (j) 誘電体 ϵ 、透磁率 μ を持つ物質の絶対屈折率は [aa] で与えられる（真空の誘電率を ϵ_0 、透磁率を μ_0 とする）。
- (k) 異方性媒質では誘電体は [bb] 量となり、その中に存在する光の [cc] と電場は必ずしも平行ではない。したがって、波数ベクトルと [dd] ベクトルも平行とは限らない。
- (l) 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 P と v が [ee] であれば特別な変化は観察されないが、それ以外の場合では [ff] が観測される。

2. 半無限磁性体（透磁率 μ ）の平らな表面から距離 a の外側に、電流 I を流す直線導線がある。半無限磁性体の外側は真空として、真空の透磁率を μ_0 とする。鏡像法を用いて導線が受ける力（導線単位長さ

当たり)の大きさと方向を求めよ。導線の太さは無視できるとし、 $\mu > \mu_0$ とする。^{*1}

3. 屈折率 n_1 と屈折率 n_2 の平らな界面に垂直に n_1 側から光を入射した。入射光の電場、磁場をそれぞれ E_1, H_1 とするとき、反射波および透磁波の電場、磁場をそれぞれ与えよ。
4. 電子分極に関与する電子の運動方程式が、位置ベクトルを $\mathbf{x}$ 、外部電場を $\mathbf{E}$ として、

$$m\ddot{\mathbf{x}} + m\gamma\dot{\mathbf{x}} + m\omega_0^2\mathbf{x} = q\mathbf{E}$$

であるとする。 m, q はそれぞれ電子の質量、電荷である。 $\mathbf{E}$ が角振動数 ω で変動しているとき (すなわち、 $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{-i\omega t}$)、

- (a) 複素電気感受率 $\chi(\omega)$ を与えよ。
 - (b) γ および ω_0 の物理的意味を述べよ。
 - (c) $\omega = \omega_0$ のときの分極 $\mathbf{P}$ の様子を簡単に記述せよ。
5. 誘電率 ϵ 、透磁率 μ 、および導電率 σ を持つ様な物質中の電磁波を考える。

- (a) 物質中の電磁波の電場成分 $\mathbf{E}$ について、Maxwell の方程式と Ohm の法則から、

$$\left(\Delta^2 - \mu\sigma \frac{\partial}{\partial t} - \epsilon\mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \mathbf{E} = 0$$

が成り立つことを示せ。ただし、孤立電荷はない ($\text{div} \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0 = 0$) とする。

- (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 、角運動量を ω として、この電場成分が $E(z, t) = E_0 \exp[i(kz - \omega t)]$ と表されたとする。 $\sigma \gg \epsilon\omega$ であれば、

$$k \approx (1 + i)/\delta, \quad \delta \equiv \sqrt{\frac{2}{\mu\sigma\omega}}$$

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、

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

で与えられることを示せ。

^{*1} ヒント：真空中の地場は、電流 I によるものと磁性体中の鏡像位置に電流 I' があるとしたものの和。磁性体内の磁場は、全空間がこの磁性体で満たされているとして、直線導線の位置に電流 I'' がある時のもの。界面の境界条件を用いてまず I' および I'' を決めよ。