

(注意) 解答用紙両面 2 枚 (全部で 4 面、冊子は 1 冊)、計算用紙 1 枚。問題番号 [1]~[4] ごとに一面を使うこと。ただし、必ずしも一面全部埋める必要はない。

[1] 電磁現象は 4 組の偏微分方程式でまとめられる (Maxwell 方程式)。それらを、対応する積分形の法則とともに書き下し、それぞれの意味するところを簡潔に記せ。(目安は、各法則に対して 2 行程度。)

[2] 図 1 (a) のように、無限に長い導線に電流 I が流れており、導線から距離 R だけ離れたところに点電荷 $q (> 0)$ が静止している。このように、点電荷が静止している座標系を K 系 (x, y, z, t) と呼ぶことにする (図 1(b))。 K 系では導線は z 軸にあるものとする。また、 K においては、導線には正負の電荷がそれぞれ線密度 $\pm\lambda$ で存在しており、導線は帯電はしていない。以下の問に答えよ。

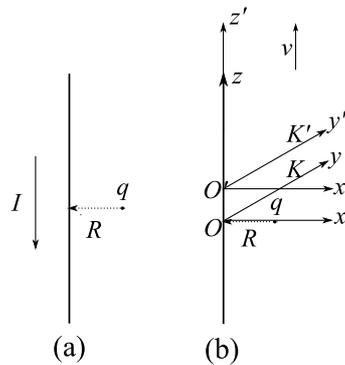


図 1 導線と点電荷

(A) K 系で考える。

- 1) 点電荷の位置における電場及び磁場の向きと大きさを求めよ。
- 2) 点電荷が受ける力を求めよ。

(B) 導線中の電流は自由電子により運ばれている。自由電子の速度を $+v (> 0)$ (図で下から上へ向かう向き) とし、以下では、同じ問題を導線中の自由電子とともに z 軸の正の方向に速度 v で等速度で動く座標系 K' 系 (x', y', z', t') で考える (図 1 (b))。ただし、 K' 系の z' 軸も導線と重なっているとし、その原点は $t = t' = 0$ において、点電荷から導線におろした垂線が交わる点であったとする。

- 3) 導線中の負電荷及び正電荷の線密度を求めよ。ただし、この際、速度 v で運動する物体は運動方向にローレンツ収縮を受けて、長さが、 $\sqrt{1 - \beta^2}$ 倍 ($\beta \equiv v/c, c$ は光の速度) になることを考慮せよ。
- 4) 導線の周りにはどのような電場ができるか? 大きさとともに求めよ。
- 5) 点電荷が電場から受ける力を求めよ。
- 6) 電流 I を、 λ, β, v を用いて表せ。
- 7) 導線の周りにはどのような磁場ができるか? 大きさとともに求めよ。
- 8) 点電荷にはローレンツ力が働く。その向きと大きさを求めよ。
- 9) 点電荷に働く力の総和を求めよ。

[3] 図 2 (a) の様に、半径 d 及び D ($d < D$) からなる非常に長い中空の円筒状導体を軸を共通にして置く。これは同軸ケーブルと呼ばれる。この同軸ケーブルの内導体と外導体が移動体の間に図のように交流電圧 $V = V_0 \sin \omega t$ を加えると矢印のように電流が流れる。これについて、以下の問いに答えよ。なお、真空の誘電率、透磁率を、それぞれ、 ϵ_0, μ_0 とおく。

(A)

1) この同軸ケーブルの単位長さあたりの容量 C を求めよ。

2) この同軸ケーブルの単位長さあたりのインダクタンス L を求めよ。

(B) この同軸ケーブルを長さ Δx の多数の部分に分けると、それぞれの部分は、インダクタンス $L\Delta x$ のコイル、容量 $C\Delta x$ のコンデンサーからなる微小 LC 回路と考えることができる。すなわち、同軸ケーブルの等価回路として、微小 LC 回路が無限につながったものを考えることができる。(図 2(b))

3) この回路は、無限の LC 回路からなっているために、そのインピーダンス Z は、図 2(c) のように、端に微小 LC 回路をもう一つ付け足しても変化しないと考えられる。図 2(c) の式を、 $Z, L, C, \Delta x, \omega$ を用いて表せ。ただし、インダクタンス $L\Delta x$ のコイル、容量 $C\Delta x$ のコンデンサーは、それぞれ各周波数 ω の交流に対して、 $i\omega L, 1/i\omega C$ (i は虚数単位) の抵抗として働くことを利用してよい。

4) これから Z を求めよ。

5) Z において $\Delta x \rightarrow 0$ の極限をとったものを同軸ケーブルの特性インピーダンス Z_0 という。 Z_0 を求めよ。

6) 1) 及び 2) で得た L, C の値を代入することで、特性インピーダンス Z_0 を求めよ。

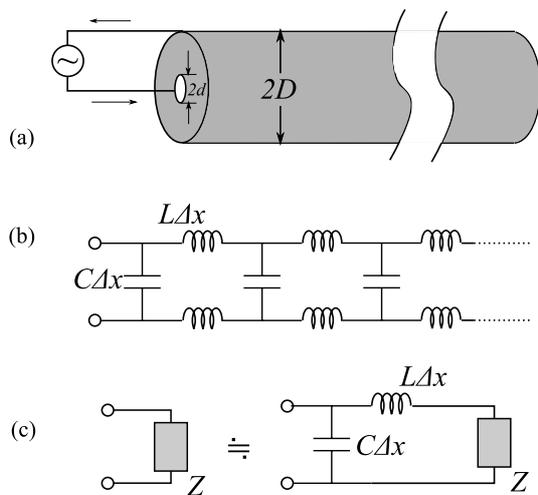


図 2 同軸ケーブルとその特性インピーダンスの模式図

[4] 以下の事柄を、簡潔に (5 行程度が目安) 説明せよ。

- 1) 場のエネルギー
- 2) 分極と磁化
- 3) 電磁波

-以上-