

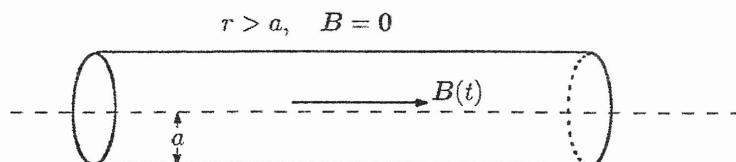
慶應義塾大学試験問題 物理学 D

2009 年 1 月 24 日 (土) 時限 (試験時間 50 分) 問題用紙 回収不要

・担当者 小原, 神成, 高野, 日向

注意: とくに指示がない場合、答案には結果のみならず、それを導いた過程についても記すこと。
また、万一与えられた条件だけでは解けない場合には、適当な量を定義したり、条件を明記した上で解いてよい。ただし、真空の誘電率 ϵ_0 、透磁率 μ_0 は断りなしに使ってよい。

問題 I 導体でできた半径 a の無限に長い円柱棒がある。その中心軸に平行に磁界を加えて、導体内の磁束密度 B を一定の割合 $dB/dt = \beta$ で大きさを増していく。導体の外部の磁束密度は零に保つとする。



導体棒の中心軸からの距離を r として、この磁界により導体内 ($r \leq a$) および導体外部 ($r > a$) で誘導される電界の大きさをそれぞれ求めなさい。
(注意: 渦電流の作る磁界は時間に依らない。)

問題 II 以下の間で用いられる関数 $f(x)$, $g(x)$ は、2 回以上微分可能である。また、 e_x, e_y, e_z は座標単位ベクトルであり、解答に必要なならばこれらを用いよ。

- (1) 電界ベクトルが $E = f(y - vt)e_z$ であるとする。 E が波動方程式 $\Delta E = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$ を満たすことより、 $v > 0$ を決定しなさい。ここで $\Delta = \nabla^2$ はラプラシアンである。
- (2) 電界ベクトルが重ね合わせ

$$E = f(y - vt)e_z + g(z - vt)e_x$$

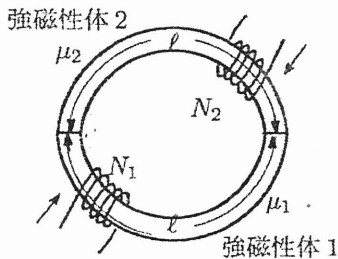
であるとする。この v は (1) で求めている。各電磁波の進行方向の単位ベクトルを \hat{k} とすると、磁束密度は、 $\frac{1}{v} \hat{k} \times E$ と表わされるベクトル場の重ね合わせである。磁束密度 B を求めなさい。

- (3) (2) で求めた電磁波のエネルギー密度を求めなさい。ただし、 v には (1) で求めた結果を代入して答えなさい。
- (4) (2) で求めた電磁波のポインティングベクトルを求めなさい。ただし、 v には (1) で求めた結果を代入して答えなさい。

問題 III 以下の問に答えなさい。

- (1) 真空から電界 E が誘電率 ϵ の誘電体の平らな表面に印加している。 E の大きさは E であり、電界と境界面の法線のなす角度を θ とする。誘電体表面の真電荷面密度は零であるとする。誘電体の内部での電界の大きさ E' および、この電界と境界面の法線のなす角度を θ' とする。 E' が満たすべき境界条件（2条件）を記しなさい。そして、 $\tan \theta'$ を求めなさい。
- (2) 誘電率 ϵ の無限に大きな誘電体の内部に、半径 a の球状の空洞を明け、この球の中心に点電荷 q を置く。空洞内は真空とする。点電荷からの距離 r の関数として、この点電荷の作る電束密度および電界の大きさを、 $r < a$ および $r > a$ に分けて求めなさい。

問題 IV 図のように長さ ℓ の半円で、その断面積が S 、透磁率が μ_1 の強磁性体 1 と、同じ形状で透磁率が μ_2 の強磁性体 2 から成る円環状の電磁石がある。強磁性体 1 には N_1 回コイルが、強磁性体 2 には N_2 回コイルが巻いてある。磁束線は強磁性体から外部に漏れることはないものと考えてよい。以下の問に答えなさい。



- (1) コイル 1 とコイル 2 にそれぞれ同じ大きさの電流 I を、図に示す矢印の方向に流した。強磁性体内部の磁束密度の大きさを求めなさい。
- (2) この 2 つのコイルの間の相互インダクタンスを求めなさい。

問題 V 誘電率が ϵ で、透磁率が μ である物質中では、電界ベクトル E と電束密度 D 、および、磁束密度 B と磁界の強さ H の間には、 $D = \epsilon E$ 、 $B = \mu H$ が成り立つことは既知とする。 E 、 D 、 B 、 H が従う物質中のマクスウェルの方程式をすべて（4 個の式）を書きなさい。ただし、真電荷密度を ρ_v 、真電流密度を i_v とする。