

13M 電磁気学期末試験（再現）

解答欄がある問題については、解答欄の中に答えを記入せよ

※1：特にことわりがない限り、すべて真空中での実験と考えて解答せよ

※2：以下の物理定数は文中における記載の有無に関わらず使える

- クローンの法則における比例定数 k
- 真空の誘電率 ϵ_0
- 真空の透磁率 μ_0

問 1 (1) 次の文章で、当てはまるほうに○をしない

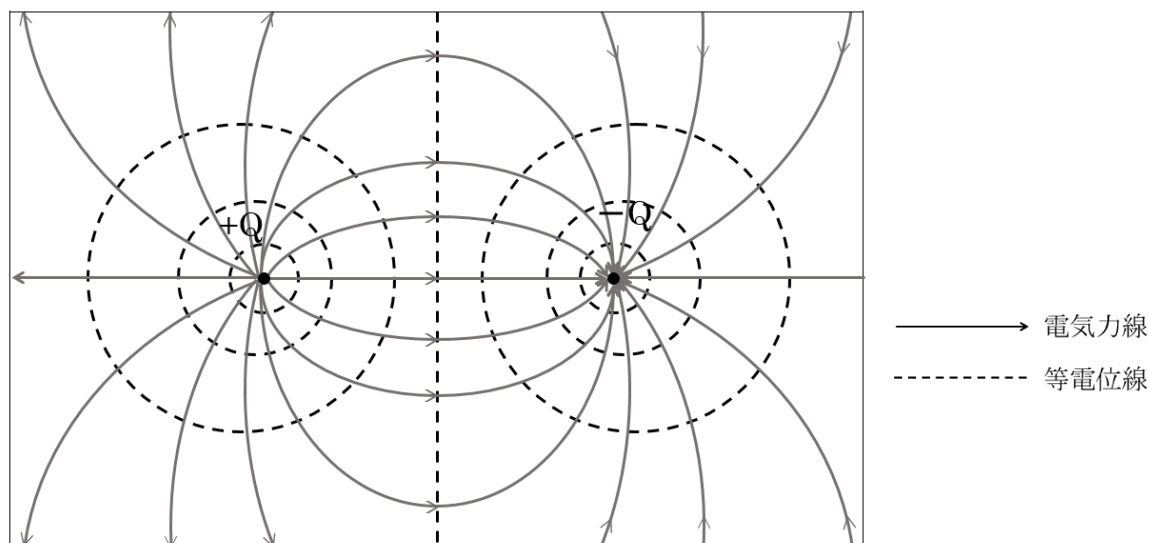
- (a)地球を一つの大きな磁石とみなすと、N 極は地球の（北極側・**南極側**）である。
- (b)直線電流がつくる磁場の向きは（**右回り**・左回り）である。
- (c)誘導起電力は、コイルの磁場の変化を（速める・**妨げる**）向きにはたらく。

(2) 次の文章が定義している言葉を書きなさい

- (a)正負の電荷 $+q$, $-q$ がきわめて接近している
- (b)荷電粒子に作用する電磁気力の総称
- (c)回路を貫く磁束が変化すると電流が流れる
- (d)抵抗器に流れる電流 I は抵抗器の両端の電位差 V に比例する
- (e)電流が仕事をしたときに発生する熱

(a) 電気双極子	(b) ローレンツ力	(c) 電磁誘導
(d) オームの法則	(e) ジュール熱	

(3) 次の図で、電気力線・等電位線を図示せよ（大まかに合っていればよい）



(4) 起電力 20[V]の電池と抵抗 R からなる回路で、5[A]の電流が流れた。

このとき抵抗値 R の値を求めよ。

$$[\text{解}] R = \frac{V}{I} = \frac{20}{5} = 4[\Omega]$$

4 [Ω]

(5) 次の文章を読み、選択肢 A～Dの中から正しいものに○をつけなさい

電気容量 10[μF]のコンデンサがある。このコンデンサの極板の面積を①倍、極板間の距離を 2 倍にしたところ、電気容量は②[μF]になった。

次に抵抗 10[Ω]の導線の長さを③倍に、断面積を 2 倍にしたところ、抵抗は④[Ω]になった。

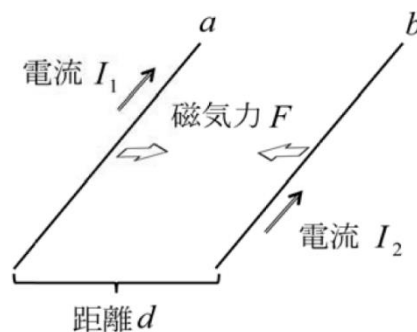
A { ①2 ②15 ③2 ④10 } B { ①2 ②15 ③3 ④15 }

Ⓒ { ①3 ②15 ③2 ④10 } D { ①3 ②15 ③2 ④15 }

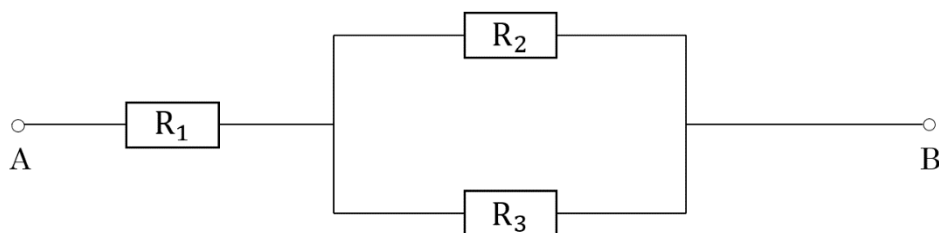
問 2 右図のように、2 本の長い導線 a, b を距離 d の間隔をあけて平行に置き、それぞれ I_1, I_2 の電流を流した。このとき、2 つの電流の間に働く単位長さあたりの磁気力 F の大きさを求めよ。ただし、直線電流のつくる磁場は以下の式で表せる

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

$$[\text{解}] F = I_1 B_2 L (= I_2 B_1 L) = I_1 \cdot \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \cdot 1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$



問 3 抵抗値がそれぞれ R_1, R_2, R_3 の 3 つの抵抗器を下図のように接続した。このとき A-B 間の合成抵抗を求めなさい

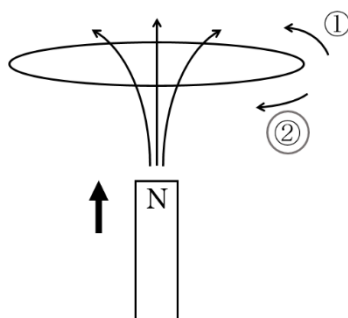


$$[\text{解}] R_2 \text{ と } R_3 \text{ の合成抵抗 } R_{23} \text{ は、} \frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3}$$

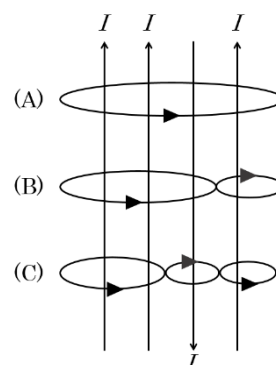
$$R_1 \text{ と } R_{23} \text{ の合成抵抗 } R_{123} \text{ は、} R_{123} = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2 + R_3}$$

$$\therefore \text{ A-B 間の合成抵抗 } R_{123} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2 + R_3}$$

問 4 次の図で、磁石をコイルに近づけたとき、電流は①と②のどちらの向きに流れるか。
正しい方に○をしなさい。



問 5 同じ強さの電流が図のように流れている場合、(A)、(B)、(C)のそれぞれの場合で矢印の向きに沿って磁場を周回積分したとき、(A)、(B)、(C)を周回積分の値が小さくなる順に並べなさい。



[解] アンペールの法則より、

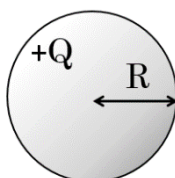
$$(A) \oint B_A ds = \mu_0(I+I-I+I) = 2\mu_0 I$$

$$(B) \oint B_B ds = \mu_0(I+I-I-I) = 0$$

$$(C) \oint B_C ds = \mu_0(I+I+I+I) = 4\mu_0 I$$

$$(B) < (A) < (C)$$

問 6 半径 R の導体球に正電荷 $+Q$ を置いた。このとき以下の問いに答えなさい。



導体球の中心からの距離 r における電場 $E(r)$ を、導体球の内部と外部で場合分けし、ガウスの法則を用いて求めなさい

[解] (i) $r < R$

導体球の内部であるから、 $E(r) = 0$

(ii) $r \geq R$

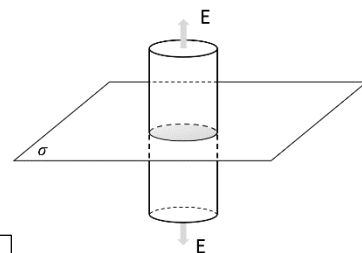
$$\Phi_E = E(r) \cdot A = 4\pi r^2 \cdot E(r)$$

また、ガウスの法則より、 $\Phi_E = 4\pi kQ$

$$\therefore E(r) = \frac{kQ}{r^2}$$

$$E(r) = \begin{cases} 0 \\ \frac{kQ}{r^2} \end{cases}$$

問 7 無限に広い平面上に電荷が一様な面密度 σ で分布している。このとき平面の両側に、平面に垂直な一様電場 E が生じる。断面積 A の円柱を閉曲面としたガウスの法則を考えることにより、電場 E の大きさを求めなさい



[解] $\Phi_E = 2EA$

また、ガウスの法則より、 $\Phi_E = 4\pi k\sigma A$

$\therefore E = 2\pi k\sigma$

$$E = 2\pi k\sigma$$

※

問 8 点電荷 Q がつくる電場の中に閉曲面 S がある。この閉曲面 S を貫いて内部から外部へ N_1 本の電気力線が出て、外部から内部へ N_2 本の電気力線が入っている。このとき電荷 Q の大きさを求めよ

[解] ガウスの法則の定義から、

$$|N_1 - N_2| = 4\pi kQ$$

$$\therefore Q = \frac{|N_1 - N_2|}{4\pi k}$$

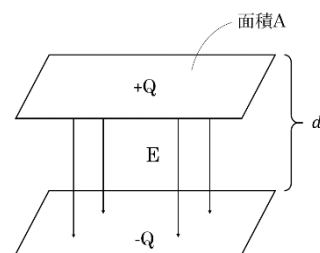
$$Q = \frac{|N_1 - N_2|}{4\pi k}$$

問 9 極板に電荷 Q , $-Q$ が蓄えられている図のようなコンデンサがある。

また、極板の面積 A 、間隔 d の平行板コンデンサの電気容量 C は、

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

で表せる。このとき、電場のエネルギー密度 u_E を求め、 ϵ_0 と E だけを用いて表しなさい。



[解] 与えられた式と $V = Ed$ から、コンデンサに蓄えられるエネルギー U は、

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\epsilon_0 \frac{A}{d} \right) \cdot (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \cdot (Ad) \quad \text{と表せる。}$$

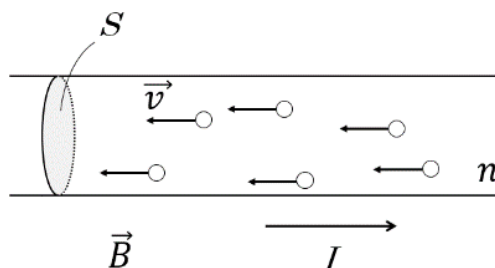
よって、単位体積あたりのエネルギー、

すなわち電場のエネルギー密度 u_E は、

$$u_E = \frac{U}{Ad} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

問 10 磁場 $\vec{B}$ の磁界に置かれた断面積 S の一様な導線の中を、単位体積あたり n 個の自由電子（電荷 $-e$ ）がドリフト速度 $\vec{v}$ で移動しているとき、以下の問いに答えなさい。



(1) 電流 I の大きさを求めよ

[解] $I = enSv$

$$I = enSv$$

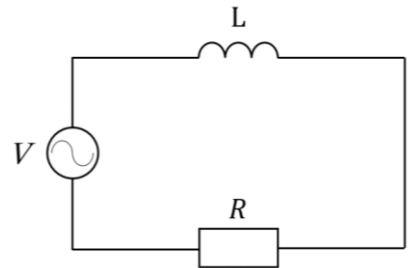
(2) ドリフト速度 $\vec{v}$ と磁場 $\vec{B}$ が θ の角度であるとき、電子に働く力 f の大きさを求めよ

[解] 電子にはローレンツ力が働くから、
 $f = evB\sin\theta$

$$f = evB\sin\theta$$

※

問 11 図のような回路で実効値 $V_e = 100[\text{V}]$ の交流電圧を加える。抵抗 $R = 100[\Omega]$ 、コイルのインダクタンス $L = 0.5[\text{H}]$ 、角周波数 $\omega = 100\pi[\text{rad/s}]$ のとき、回路に流れる電流の実効値 $I_e[\text{A}]$ を求めなさい。



[解] 抵抗 $R = 100[\Omega]$ 、コイルの誘導リアクタンス $\omega L = 50\pi[\Omega]$

また、 R 、 L は直列だから流れる電流は等しく、

$$V_e = RI_e \sin\omega t + \omega LI_e \cos\omega t$$

$$= \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} I_e \sin(\omega t + \varphi)$$

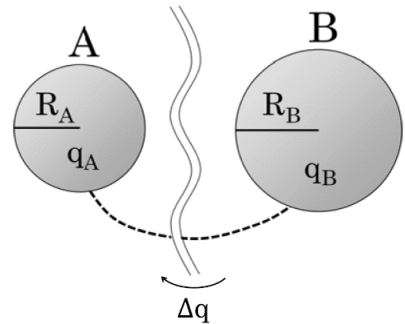
ゆえに $100 = \sqrt{100^2 + (50\pi)^2} I_e$

$$\therefore I_e = \frac{2}{\sqrt{\pi^2 + 4}}$$

$$I_e = \frac{2}{\sqrt{\pi^2 + 4}} [\text{A}]$$

※

問 12 右図のように、互いに十分離れた半径 R_A 、 R_B の導体球 A と B があり、それぞれ電荷 q_A 、 q_B が与えられている。導体球 A、B を導線でつないだところ、B から A へ電荷が Δq だけ移動した。このとき R_A 、 R_B 、 q_A 、 q_B 、 Δq が満たすべき関係式を導け。(導体球 A、B が互いの電荷分布に与える影響は無視できるものとする。)



[解] 電荷が Δq だけ移動した後の導体球 A、B の電位 V_A' 、 V_B' は、

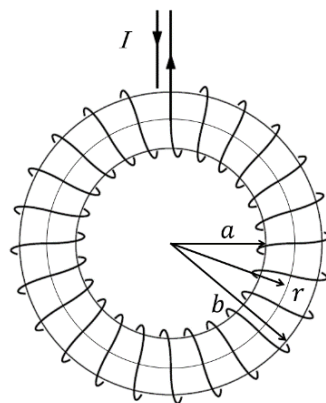
$$V_A' = k \frac{q_A + \Delta q}{R_A} \quad V_B' = k \frac{q_B - \Delta q}{R_B}$$

電荷の移動後は等電位となっているから、 $V_A' = V_B'$

ゆえに、 $k \frac{q_A + \Delta q}{R_A} = k \frac{q_B - \Delta q}{R_B}$

$$\therefore \frac{q_A + \Delta q}{R_A} = \frac{q_B - \Delta q}{R_B} \text{ を満たしている必要がある。}$$

問 13 図のような N 巻きのトロイドに電流 I が流れている。このトロイド内部の磁場 B を、中心からの距離を r ($a < r < b$) とし、アンペールの法則を用いて求めよ



[解] 半径 r の円を閉曲線 C として磁場 B を周回積分すると、

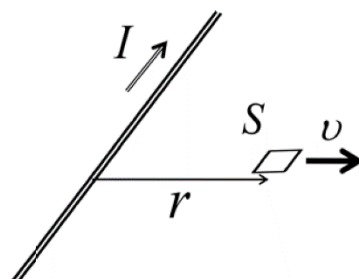
$$\oint_C B ds = 2\pi r B \text{ であるから、アンペールの法則より、}$$

$$2\pi r B = \mu_0 NI$$

$$\therefore B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

問 14 まっすぐに張った無限に長い導線に、強さ I の電流を流す。導線を含む面内に微小な面積 S を持つひと巻きコイルを置き、一定の速さ v で導線から遠ざけた (右図)。導線からコイルの中心までの距離が r のとき、コイルに生じる誘導起電力 V_r の大きさを求めよ。



[解] 磁場 B は、 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ と表せるから、

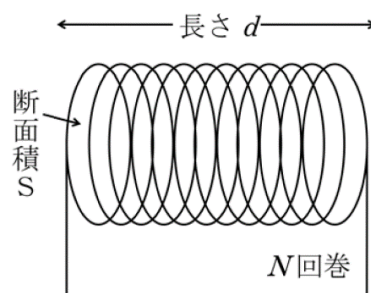
$$\text{磁束 } \Phi_B \text{ は、 } \Phi_B = BS = \frac{\mu_0 IS}{2\pi r}$$

$$\text{よって } V_r = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d\Phi_B}{dr} \frac{dr}{dt} = \frac{\mu_0 ISv}{2\pi r^2}$$

問 15 長さ d 、断面積 S 、単位長さあたり n 巻き、総巻き数 N 、自己インダクタンス L のソレノイドがある。このソレノイドに電流 I が流れているとき、

$$\frac{1}{2} LI^2$$

の磁場エネルギーが蓄えられている。ソレノイド内部の磁場を B とするとき、これを用いてソレノイド内部の磁場のエネルギー密度 u_B を求め、 μ_0 と B だけを用いて表しなさい。



[解] ソレノイド内部の磁場 B は、 $B = \mu_0 nI$

$$\text{自己インダクタンス } L = \frac{N\Phi_B}{I} = \frac{NBS}{I} = \mu_0 n^2 Sd$$

よって磁場のエネルギーを U とすると、

$$U = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \cdot (\mu_0 n^2 Sd) \cdot \left(\frac{B}{\mu_0 n} \right)^2 = \frac{1}{2\mu_0} B^2 \cdot (Sd)$$

ゆえに、磁場のエネルギー密度 u_B は、

$$u_B = \frac{U}{Sd} = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

$$u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

注 問題・解答が正確でない可能性があります。ご注意ください。

問題番号の上に✕をつけた問題は解答に自信がありません。分かる方はご協力願います。