本科 2 期 10 月度

解答

Z会東大進学教室

難関大物理／難関大物理 T

１７章　ローレンツ力

問題

■演習

【1】

《解答》

(1)　静電気力：　大きさ $\underline{qE}$[N],　　$\underline{\text{左向き}}$(電場の向き)

　ローレンツ力：　大きさ $\underline{qvB}$[N],　　$\underline{\text{右向き}}$(フレミング左手の法則より)

(2)　静電気力とローレンツ力がつり合わなければならないから

$$qE = qvB \qquad \therefore \quad v = \underline{\frac{E}{B}}\text{[m/s]}$$

(3)　円運動の半径を r[m] とすると，円運動の運動方程式

$$m\frac{v^2}{r} = qvB \qquad \therefore \quad m = \frac{qBr}{v}$$

$$r = \frac{a}{2},\ v = \frac{E}{B} \quad \text{であるから} \quad m = \underline{\frac{qB^2a}{2E}}\text{[kg]}$$

(4)　円運動の周期を T[s] とすると

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{\pi aB}{E}$$

　また，(3) より　$a = \dfrac{2mE}{qB^2}$．求める時間は円運動の $\dfrac{1}{2}$ 周期であるから

$$\frac{T}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{\pi B}{E} \times \frac{2mE}{qB^2} = \underline{\frac{\pi m}{qB}}\text{[s]}$$

【2】

《解答》

(1) (a) $\underline{\text{ローレンツ力}}$

(b) $\underline{qv_0B}$

(2) (c) $m\dfrac{{v_0}^2}{r_0} = qv_0B \qquad \therefore \quad r_0 = \underline{\dfrac{mv_0}{qB}}$

(d) $\dfrac{1}{2} \times \dfrac{2\pi r_0}{v_0} = \underline{\dfrac{\pi m}{qB}} \cdots$ 速さによらない.

(3) (e) D_2 に最初に入射するときの速さを v とすると

$$\frac{1}{2}mv^2 = \underline{\frac{1}{2}m{v_0}^2 + qV}$$

(f) $v = \underline{\sqrt{{v_0}^2 + \dfrac{2qV}{m}}}$

(g) $\underline{\dfrac{\pi m}{qB}}$

(4) (h) D_1 に再び入射するときの速さを v_1 とすると

$$\frac{1}{2}m{v_1}^2 = \underline{\frac{1}{2}m{v_0}^2 + 2qV}$$

(i) $v_1 = \underline{\sqrt{{v_0}^2 + \dfrac{4qV}{m}}}$

(j) $r_1 = \underline{\dfrac{m}{qB}\sqrt{{v_0}^2 + \dfrac{4qV}{m}}}$

(5) (k) $\underline{qV}$

(l) $\dfrac{1}{2}m{v_n}^2 = \dfrac{1}{2}m{v_0}^2 + 2nqV \qquad \therefore \quad v_n = \underline{\sqrt{{v_0}^2 + \dfrac{4nqV}{m}}}$

(m) $r_n = \underline{\dfrac{m}{qB}\sqrt{{v_0}^2 + \dfrac{4nqV}{m}}}$

(6) (n) 最大の速さ $v_{\max}$ となるとき,

$$\frac{mv_{\max}}{qB} = R \qquad \therefore \quad v_{\max} = \underline{\frac{qBR}{m}}$$

(7) $\dfrac{v_{\max}}{c} = \dfrac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (5.0 \times 10^{-2}) \times 1.7}{(3.0 \times 10^8)(1.7 \times 10^{-27})} = \underline{2.7[\%]}$

添削課題

《解答》

A

(1) , (2)<u>極板間には極板に垂直な方向に一様な電場</u>(大きさ<u>$\dfrac{V}{a}$[V/m])</u><u>ができ，向きは図で上から下に向かう向き ($-y$ 向き) となる.</u>

(3) 合力の y 成分が 0 となればよい．求める速さを v として

$$m \cdot 0 = (-e) \cdot (-\frac{V}{a}) - evB_0$$
$$\therefore \quad v = \underline{\frac{V}{aB_0}[\mathrm{m/s}]}$$

(4) 求める半径を r として,

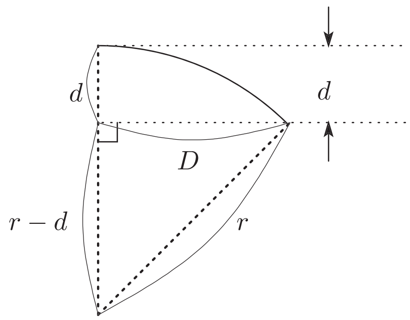
$$m\frac{v^2}{r} = evB_0$$
$$\therefore \quad r = \frac{mv}{eB_0} = \underline{\frac{mV}{eaB_0{}^2}[\mathrm{m}]}$$

(5) 右図で,

$$d = r - \sqrt{r^2 - D^2}$$

(4) の r を代入して

$$d = \underline{\frac{mV}{eaB_0{}^2} - \sqrt{\left(\frac{mV}{eaB_0{}^2}\right)^2 - D^2}}$$



(6) <u>(3) の速さを持つ電子を選別する役目.</u>

B

(1) 求める速さを v_0 としてエネルギー保存より

$$0 + q_0 V_0 = \frac{1}{2} m_0 {v_0}^2 + 0$$

$$\therefore \quad v_0 = \underline{\sqrt{\frac{2q_0 V_0}{m_0}} [\mathrm{m/s}]}$$

(2) S に入射時に S→D 向きのローレンツ力をもたらす磁界の向きは <u>(オ)</u>.

(3) 円軌道を描くときの運動方程式より

$$m_0 \frac{{v_0}^2}{L_0/2} = q_0 v_0 B_0$$

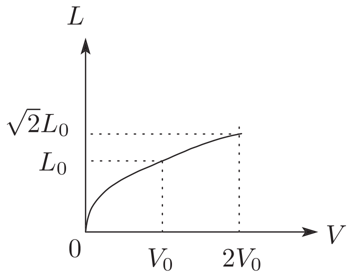
$$\therefore \quad v_0 = \frac{q_0 L_0 B_0}{2m_0}$$

(1) の v_0 とあわせて

$$\frac{q_0}{m_0} = \underline{\frac{8V_0}{{B_0}^2 {L_0}^2} [\mathrm{C/kg}]}$$

(4) (3) で，$V_0 \to V$，$L_0 \to L$ として

$$L = \sqrt{\frac{8m_0}{q_0 {B_0}^2} V}$$



(5) (3) より，q_0，V_0 一定で m_0 を 4 倍にするとき，L_0 を変えないようにするには B_0 を 2 倍にするとよい.

配点

A(1)，(2) 各 5 点　　(3)〜(6) 各 10 点　　B(1)〜(5) 各 10 点

１８章　電磁誘導１

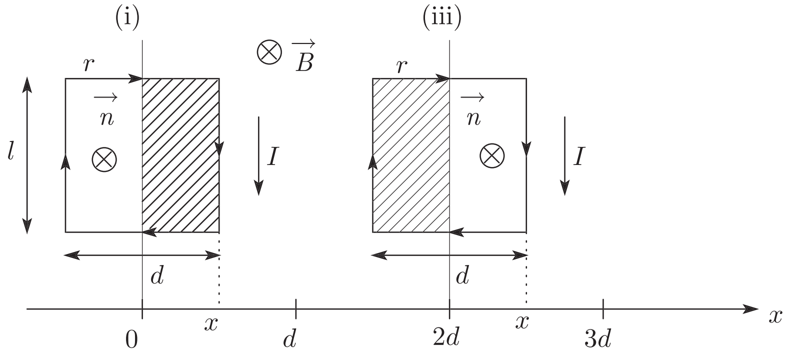
問題

■演習

【1】

《解答》

電流 I，電位差及び起電力の正の向き，コイルの位置の設定は下図.



(1),(2) 電流回路の方程式 (右辺が求める起電力) と流れる電流は,

(i)

$$V = rI = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\Big[(+B_0)lx\Big] = \underline{-B_0 lv}$$
$$\therefore \quad I = -\frac{B_0 lv}{r}$$
$$\therefore \quad |I| = \underline{\frac{B_0 lv}{r}}, \quad \underline{\mathrm{A} \to \mathrm{B}\ 向き}$$

(ii)

$$V = rI = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\Big[(+B_0)ld\Big] = \underline{0}$$
$$\therefore \quad I = \underline{0}$$

(iii)

$$V = rI = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\Big[+B_0 l\{d-(x-2d)\}\Big] = \underline{+B_0 lv}$$
$$\therefore \quad I = +\frac{B_0 lv}{r}$$
$$\therefore \quad |I| = \underline{\frac{B_0 lv}{r}}, \quad \underline{\mathrm{B} \to \mathrm{A}\ 向き}$$

(3) 運動方程式の x 成分は，コイルの質量を m，外力を F_x として

$$\text{(i)}\quad m\cdot 0 = IB_0l + F_x \qquad \therefore\quad F_x = -IB_0l = \underline{+\frac{(B_0l)^2}{r}v[\mathrm{N}]}$$

$$\text{(ii)}\quad m\cdot 0 = 0 + F_x \qquad \therefore\quad F_x = \underline{0[\mathrm{N}]}$$

$$\text{(iii)}\quad m\cdot 0 = -IB_0l + F_x \qquad \therefore\quad F_x = +IB_0l = \underline{+\frac{(B_0l)^2}{r}v[\mathrm{N}]}$$

(4)

$$P = F_x\cdot v(=rI^2) = \frac{(B_0lv)^2}{r}[\mathrm{W}]$$

よって総ジュール熱は，P に時間 $2\cdot\dfrac{d}{v}$ をかけて，

$$P\cdot 2\frac{d}{v} = \underline{\frac{2(B_0l)^2vd}{r}[\mathrm{J}]}$$

(5),(6) 問より，起電力について，時刻 t における B を $B(t)$ とすると

(a)

$$-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\Big[+B(t)\cdot ld\Big] = -B_0lv$$

$$\therefore\quad B(t) = \frac{B_0v}{d}t + 0$$

$$\therefore\quad B(T) = \underline{\frac{B_0v}{d}}T = B_1 \quad (\text{問より})$$

$$\therefore\quad B(t) = \frac{B_1}{T}t$$

(b)

$$B(t) = B(T) = B_1 \quad (=\text{一定})$$

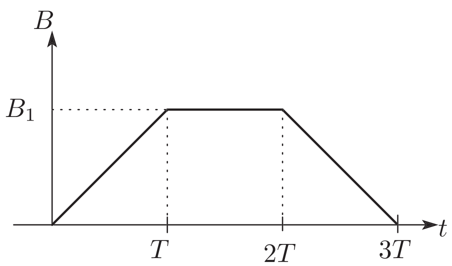
(c)

$$-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\Big[B(t)ld\Big] = +B_0lv$$

$$\therefore\quad B(t) = -\frac{B_0v}{d}(t-2T) + B_1$$

$$= -\frac{B_1}{T}(t-2T) + B_1$$

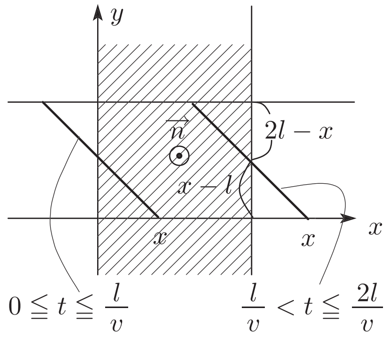
グラフは下図.



【2】

《解答》

(1) 右図の座標設定で，$x = vt$．よって



$$\Phi_1(t) = \frac{1}{2}Bx^2 = \underline{\frac{1}{2}B(vt)^2} \quad (\Rightarrow ①)$$

$$\begin{aligned}
\Phi_2(t) &= B\left[l^2 - \frac{1}{2}(2l-x)^2\right] \\
&= B\left[-\frac{1}{2}x^2 + 2lx - l^2\right] \\
&= \underline{-\frac{1}{2}B(vt)^2 + 2Blvt - Bl^2} \quad (\Rightarrow ②)
\end{aligned}$$

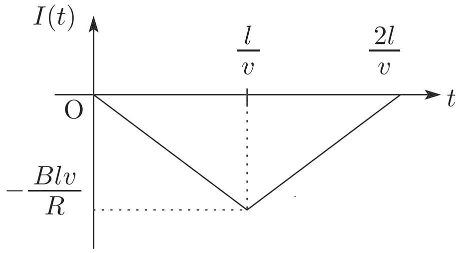
$$\begin{aligned}
\therefore \quad \Delta\Phi_1(t) &= \frac{1}{2}Bv^2\left[(t+\Delta t)^2 - t^2\right] \\
&= \underline{Bv^2t}_{③}\Delta t + \underline{\frac{1}{2}Bv^2}_{④}(\Delta t)^2
\end{aligned}$$

$$⑤ \quad V_1(t) = -\frac{\mathrm{d}\Phi_1}{\mathrm{d}t} = \underline{-Bv^2t}$$

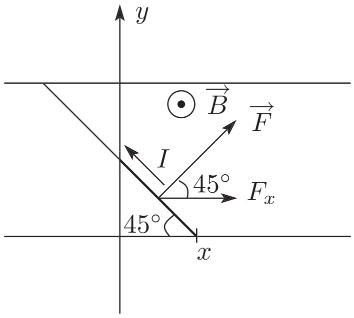
$$⑥ \quad V_2(t) = -\frac{\mathrm{d}\Phi_2}{\mathrm{d}t} = \underline{Bv^2t - 2Blv}$$

(2)

$$I(t) = \begin{cases} \dfrac{V_1(t)}{R} = \underline{-\dfrac{Bv^2t}{R}} & \left(0 \leqq t \leqq \dfrac{l}{v}\right) \\ \dfrac{V_2(t)}{R} = \underline{+\dfrac{Bv^2t}{R} - \dfrac{2Blv}{R}} & \left(\dfrac{l}{v} < t \leqq \dfrac{2l}{v}\right) \end{cases}$$



(3)



※ (2) より，$I < 0$

$$F_x = +IB\sqrt{2}x \cdot \cos 45^\circ$$
$$= \underline{-\frac{B^2 v^3 t^2}{R}}$$

(4)　ジュール熱自体は，抵抗値と電流によって決まるものなので，

$$P(t) = RI^2(t) = \underline{\frac{B^2 v^4 t^2}{R}} = |F_x| v$$

よって題意が示された．

添削課題

《解答》

(1) (ア) $F=|(-e)\cdot vB|=\underline{evB}$

(イ) $W=Fa=\underline{evBa}$

(ウ) $V_1=\dfrac{W}{e}=\underline{vBa}$

(2) $\overline{\mathrm{AD}}=x$ とおくと，閉ループ ABCDA を貫く磁束 $\varPhi$ は

$$\varPhi=Bax=Ba\cdot\{vt+x(0)\}$$

よって，反時計回りを正とする起電力 V は

$$V=-\frac{\mathrm{d}\varPhi}{\mathrm{d}t}=-Bav \qquad \therefore \quad V_2=\underline{Bav}$$

$V<0$ なので，電流は時計回りに流れ，AB 上では <u>B→A</u> の向き．

(3) 閉ループ ABCDA を貫く磁束 $\varPhi'$ は

$$\varPhi'=\left(B-\frac{B}{T}t\right)ab$$

反時計回りを正とする起電力 V' は，

$$V'=-\frac{\mathrm{d}\varPhi'}{\mathrm{d}t}=\frac{Bab}{T} \qquad \therefore \quad V_3=\underline{\frac{Bab}{T}}$$

$V'>0$ なので，電流は反時計回りに流れ，AB 上では <u>A→B</u> の向き．

配点

(1) 各 10 点　　(2) 完答 30 点　　(3) 完答 40 点

１９章　電磁誘導２

問題

■演習

【1】

《解答》

(1) 金属棒の速度が v となったとき，金属棒に生じる誘導起電力の大きさを V とすると

$$V = \underline{Bvl}$$

また，金属棒が問題の図で右向きに動くと，金属棒，レール，抵抗からなる回路を貫く下向きの磁束が増加するので，磁束の増加を妨げる向き，つまり，上向きの磁束を作る向きの誘導電流が流れるから $\underline{\mathrm{P}\rightarrow\mathrm{Q}\text{ 向き}}$

(2) 金属棒の運動の向きの加速度を a_1，糸の張力の大きさを T_1，金属棒が磁場から受ける力(電磁力) の大きさを F_1 とすると，金属棒の運動方程式は

$$ma_1 = T_1 + (-F_1) \quad \cdots ①$$

おもりの運動方程式は

$$Ma_1 = Mg + (-T_1) \quad \cdots ②$$

①＋②より

$$(m + M)a_1 = Mg + (-F_1)$$

ここで，等速度で運動するとき $a_1 = 0$，$F_1 = I_1Bl$ であるから

$$0 = Mg - I_1Bl \qquad \therefore \quad I_1 = \underline{\frac{Mg}{Bl}}$$

また，回路方程式より

$$Bv_1l - I_1R = 0 \qquad \therefore \quad v_1 = \frac{I_1R}{Bl} = \underline{\frac{MgR}{(Bl)^2}}$$

(3) (ア) 回路方程式より

$$E - Bv_2l - I_2R = 0 \qquad \therefore \quad \underline{I_2 = \frac{E - Bv_2l}{R}}$$

金属棒の運動の向きの加速度を a_2，糸の張力の大きさを T_2，金属棒が磁場から受ける力 (電磁力) の大きさを F_2 とすると，金属棒の運動方程式は

$$ma_2 = F_2 + (-T_2) \quad \cdots ③$$

おもりの運動方程式は

$$Ma_2 = T_2 + (-Mg) \quad \cdots ④$$

③ + ④ より

$$(m + M)a_2 = F_2 + (-Mg)$$

ここで，等速度で運動するとき，$a_2 = 0$，$F_2 = I_2Bl$ であるから

$$0 = \frac{E - Bv_2l}{R}Bl - Mg \qquad \therefore \quad \underline{v_2 = \frac{1}{Bl}\left(E - \frac{MgR}{Bl}\right)}$$

(イ) $R{I_2}^2 = \dfrac{(E - Bv_2l)^2}{R}$，$EI_2 = \dfrac{E(E - Bv_2l)}{R}$，$Mgv_2 = \dfrac{(E - Bv_2l)Bv_2l}{R}$ であるから

$$\begin{aligned} EI_2 - Mgv_2 &= \frac{E(E - Bv_2l)}{R} - \frac{(E - Bv_2l)Bv_2l}{R} \\ &= \frac{(E - Bv_2l)^2}{R} \\ &= R{I_2}^2 \end{aligned}$$

(ウ) $R{I_2}^2$: <u>単位時間に抵抗で発生するジュール熱 (消費電力)</u>

EI_2 : <u>単位時間に電池がする仕事</u>

Mgv_2 : <u>単位時間のおもりの位置エネルギーの変化量</u>

【2】

《解答》

(1) 周期を T，閉回路を貫く磁束を ϕ とすると

$$0 < t < \frac{T}{4},\ \frac{T}{2} < t < \frac{3}{4}T \quad \text{のとき} \quad \left|\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right| = \text{一定}$$

$$\frac{T}{4} < t < \frac{T}{2},\ \frac{3}{4}T < t < T \quad \text{のとき} \quad \left|\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right| = 0$$

であるから求めるグラフは　$\underline{①}$

(2) 毎分つまり 60 秒に 120 回転するから，周期つまり 1 回転する時間は

$$\frac{60}{120} = \underline{0.5}\text{秒}$$

(3) 求める角速度を ω とすると

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.5} = \underline{4} \times \pi\,[\mathrm{rad/s}]$$

(4) 扇形 OAB の辺 OA が 1 秒間に磁場を掃く面積を $\dfrac{\Delta S}{\Delta t}$ とすると

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{1}{2}a^2\omega$$

であるから閉回路を貫く磁束の時間変化の割合は，磁場の磁束密度を B とすると

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = B \times \frac{1}{2}a^2\omega = \frac{1}{2}Ba^2 \times 4\pi = \underline{2Ba^2} \times \pi\,[\mathrm{Wb/s}]$$

(5) 閉回路に誘導起電力が生じるときの誘導起電力の大きさを V，流れる電流の大きさを I とすると

$$V = \left| -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right| \qquad \therefore \quad I = \frac{V}{R} = \frac{2\pi Ba^2}{R} = \underline{\frac{2Ba^2}{R}} \times \pi\,[\mathrm{A}]$$

(6) 閉回路に誘導電流が流れるときの消費電力を P とすると

$$P = I^2R = \left(\frac{2\pi Ba^2}{R}\right)^2 R = \underline{\frac{4B^2a^4}{R}} \times \pi^2\,[\mathrm{W}]$$

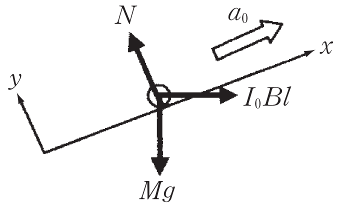
(7) 1 秒間に発生するジュール熱が消費電力であり，1 周期当たりジュール熱を発生する時間帯は $0 \leqq t \leqq \dfrac{T}{4}$，$\dfrac{T}{2} \leqq t \leqq \dfrac{3}{4}T$ で，$\dfrac{T}{2} = \dfrac{0.5}{2} = 0.25$ 秒間　であるから求めるジュール熱を Q とすると

$$Q = \frac{4\pi^2B^2a^4}{R} \times 0.25 = \underline{\frac{B^2a^4}{R}} \times \pi^2\,[\mathrm{J}]$$

添削課題

《解答》

(1) 金属棒に流れる電流の大きさを I_0，斜面からの垂直抗力の大きさを N，斜面に沿って上向きの加速度を a_0 とすると，金属棒の運動方程式は



$$M\begin{pmatrix} a_0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -Mg\sin\theta \\ -Mg\cos\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_0Bl\cos\theta \\ -I_0Bl\sin\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ N \end{pmatrix}$$

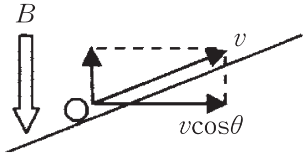
ここで，$I_0 = \dfrac{E}{R}$ である．

加速度が正となるとき金属棒は斜面上方にすべり始めるから，x 軸方向の運動方程式より

$$Ma_0 = -Mg\sin\theta + I_0Bl\cos\theta = -Mg\sin\theta + \frac{E}{R}Bl\cos\theta > 0$$

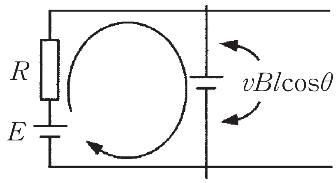
$$\therefore \quad \underline{\tan\theta < \frac{EBl}{MgR}}$$

(2) 金属棒の速さが v であるとき，磁場に垂直な速度成分の大きさは $v\cos\theta$ なので，磁場に垂直な閉回路の面積の変化量を ΔS とすると，金属棒に生じる誘導起電力の大きさ V は



$$V = \left| -1 \times \frac{B\Delta S}{\Delta t} \right| = \left| -\frac{B(v\cos\theta \cdot \Delta t)l}{\Delta t} \right| = vBl\cos\theta\,[\mathrm{V}]$$

(3) 閉回路に流れる電流を図の向きに大きさ I とすると，キルヒホッフの第 2 法則より



$$E - IR - vBl\cos\theta = 0 \qquad \therefore \quad I = \frac{E - vBl\cos\theta}{R}$$

斜面に沿って上向きの加速度を a とすると，金属棒の x 軸方向の運動方程式は

$$Ma = -Mg\sin\theta + IBl\cos\theta = -Mg\sin\theta + \frac{E - vBl\cos\theta}{R}Bl\cos\theta$$

金属棒の加速度が $a = 0$ となるとき速さ v が一定値になるから，この値を v_f とすると

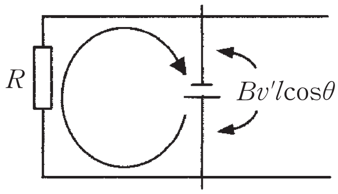
$$M \cdot 0 = -Mg\sin\theta + \frac{E - v_fBl\cos\theta}{R}Bl\cos\theta$$

$$\therefore \quad \underline{v_f = \frac{1}{Bl\cos\theta}\left(E - \frac{MgR\sin\theta}{Bl\cos\theta}\right)[\mathrm{m/s}]}$$

このとき，抵抗に流れる電流の大きさを I_f とすると

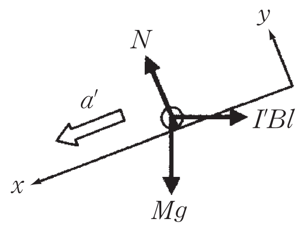
$$I_f = \frac{E - v_fBl\cos\theta}{R} = \underline{\frac{Mg\sin\theta}{Bl\cos\theta}[\mathrm{A}]}$$

(4) 金属棒の速さ v' のとき，金属棒に流れる電流を図の向きに大きさ I' とすると，キルヒホッフの第 2 法則より



$$Bv'l\cos\theta - I'R = 0 \qquad \therefore \quad I' = \frac{Bv'l\cos\theta}{R}\,[\mathrm{A}]$$

であるから斜面に沿って下向きの加速度を a' とすると，金属棒の運動方程式は



$$M\begin{pmatrix} a' \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Mg\sin\theta \\ -Mg\cos\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -I'Bl\cos\theta \\ -I'Bl\sin\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ N \end{pmatrix}$$

ここで，x 軸方向の運動方程式より

$$Ma' = Mg\sin\theta - \frac{Bv'l\cos\theta}{R}Bl\cos\theta$$

金属棒の加速度が $a' = 0$ となるとき速さ v' が一定値になるから，この値を v'_f とすると

$$M \cdot 0 = Mg\sin\theta - \frac{Bv'_f l\cos\theta}{R}Bl\cos\theta$$

$$\therefore \quad \underline{v'_f = \frac{MgR\sin\theta}{(Bl\cos\theta)^2}\,[\mathrm{m/s}]}$$

また，このとき抵抗に流れる電流の大きさを I'_f とすると

$$I'_f = \frac{Bv'_f l\cos\theta}{R} = \underline{\frac{Mg\sin\theta}{Bl\cos\theta}\,[\mathrm{A}]}$$

配点

(1) 20 点　(2) 10 点　(3) 各 20 点　(4) 各 15 点

２０章　自己誘導と相互誘導

問題

■演習

【１】

《解答》

I (1) ソレノイド内部に生じる磁場なので，磁場の強さ H は　$H = \underline{n_1 I}$

$B = \mu_0 H$ より，コイル 1 巻きを貫く磁束 Φ は　$\Phi = BS = \underline{\mu_0 n_1 SI}$

(2) コイル 1 巻きに発生する起電力 v は　$v = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\mu_0 n_1 S\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

コイルは $n_1 l_1$ 巻きであるから，ソレノイド A に発生する起電力 V_A は

$$V_\mathrm{A} = v \times n_1 l_1 = \underline{-\mu_0 {n_1}^2 l_1 S\frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

(3) ソレノイド A の自己インダクタンスを L_A とすると，$L_\mathrm{A} = \underline{\mu_0 {n_1}^2 l_1 S}$

(4) コイル 1 巻きに発生する起電力はソレノイド A のときと同じ v で，コイルは $n_2 l_2$ 巻きであるから，ソレノイド B に発生する起電力 V_B は

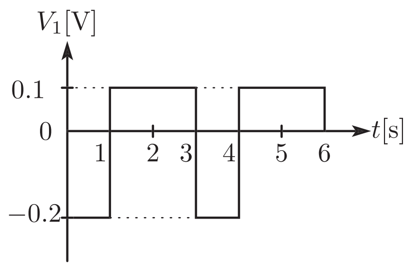
$$V_\mathrm{B} = v \times n_2 l_2 = \underline{-\mu_0 n_1 n_2 l_2 S\frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

(5) ソレノイド A，B の相互インダクタンスを M とすると，$M = \underline{\mu_0 n_1 n_2 l_2 S}$

II (1) a を基準とした b の電位は

$$V_1 = -L\frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}$$

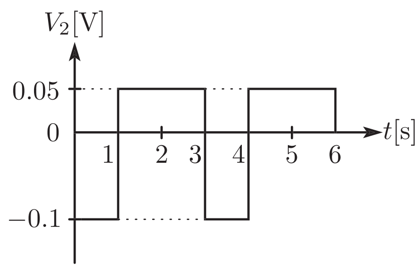
ここでは $L = 0.2\mathrm{H}$ なので，図 3 の傾きに -0.2 をかけたものが V_1 の値となる．



(2) c を基準とした d の電位は

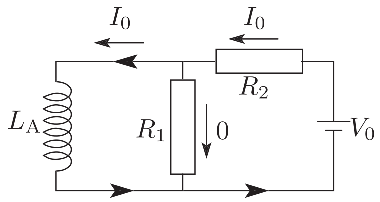
$$V_2 = -M\frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}$$

ここでは $M = 0.1\mathrm{H}$ なので，図 3 の傾きに -0.1 をかけたものが V_2 の値となる．



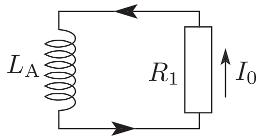
【2】

《解答》



(1) 右図の設定で，十分時間経過後，$I_0=$ 一定ゆえ，ソレノイドAの起電力は0となるため，抵抗1を流れる電流は0である．よって

$$R_2I_0=V_0 \qquad \therefore \quad I_0=\underline{\frac{V_0}{R_2}}$$



(2) 求める直後のコイルの起電力を右図の向きを正として V とおくと，(1) の I_0 を流す起電力が V であるので

$$R_1I_0=+V \qquad \therefore \quad V=R_1I_0=\underline{\frac{R_1}{R_2}V_0}$$

(3) 回路の方程式は

$$R_1I=-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(L_AI) \qquad ①$$

$$\therefore \quad \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}=-\frac{R_1}{L_A}I \qquad \therefore \quad I(t)=\frac{V_0}{R_2}e^{-\frac{R_1}{L_A}t}$$

問の起電力の正の向きを考慮して，起電力は

$$+L_A\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}=-\frac{R_1}{R_2}V_0e^{-\frac{R_1}{L_A}t}$$

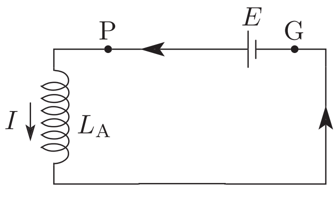
グラフの概形は $\underline{(\text{ク})}$.

(4) ① × I より

$$R_1I^2=-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}L_AI^2\right)$$

$$\therefore \int_0^{t_\infty} RI^2\mathrm{d}t=-\left[\frac{1}{2}L_AI^2\right]_{\frac{V_0}{R_2}}^{0}=\underline{\frac{1}{2}L_A\left(\frac{V_0}{R_2}\right)^2}$$

(5) 電源2の起電力を E として



$$0=E-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(L_AI)$$

GP 間の起電力は，コイル内で G→P 向きを正として

$$V=+L_A\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

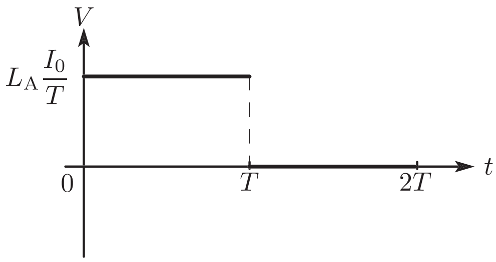
ここで

$$\begin{cases} I(t) &= \dfrac{I_0}{T}t \quad (0 \leqq t \leqq T) \\ I(t) &= I_0 \qquad (t > T) \end{cases}$$

ゆえに，V は

$$\begin{cases} +L_\mathrm{A}\dfrac{I_0}{T} & (0 \leqq t \leqq T) \\ 0 & (t > T) \end{cases}$$

グラフは下図.



(6)　$\varPhi_\mathrm{A} = \mu\dfrac{n_\mathrm{A}}{l_\mathrm{A}}I \cdot \pi a^2$ ゆえ

$$L_\mathrm{A} = \frac{n_\mathrm{A}\varPhi_\mathrm{A}}{I} = \underline{\mu\frac{{n_\mathrm{A}}^2}{l_\mathrm{A}}\pi a^2}$$

(7)　B 内部の磁束密度 B_B は

$$B_\mathrm{B} = \mu\frac{n_\mathrm{A}}{l_\mathrm{A}}I_0 = \underline{\frac{L_\mathrm{A}}{\pi a^2 n_\mathrm{A}}I_0}$$

よって，求める磁束の大きさ $\varPhi_\mathrm{B}$ は

$$\varPhi_\mathrm{B} = B_\mathrm{B}\pi b^2 = \underline{\frac{b^2 L_\mathrm{A}}{a^2 n_\mathrm{A}}I_0}$$

(8)　ソレノイドが巻かれている向きに注意すると

$$V = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(-n_\mathrm{B}\varPhi_\mathrm{B}\right)$$

ここで

$$\varPhi_\mathrm{B} = \frac{b^2 L_\mathrm{A}}{a^2 n_\mathrm{A}}\frac{I_0}{T}t$$

ゆえに

$$V = \underline{+\frac{b^2 n_\mathrm{B} L_\mathrm{A}}{a^2 n_\mathrm{A} T}I_0}$$

添削課題

《解答》

(1) (i) ソレノイドコイルゆえ

$$\underline{\Phi = \mu \frac{N_1}{l} IS}$$

(ii) A→B の向きの電流が増えることによって鉄心を貫く下向きの磁束が増える．レンツの法則により，コイル 2 は上向きの磁束を作ろうとするため，CD 間には D→C の向きに電流を流そうとする起電力が生じる．したがって <u>C の方が電位が高い</u>.

(iii) (ii) より，端子 C の電位を V_{C}，端子 D の電位を V_{D} とすると

$$V_2 = V_{\mathrm{D}} - V_{\mathrm{C}} = \underline{-\frac{\mu N_1 N_2 S}{l} \frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

(2) 求める電位差 V は

$$V = V_{\mathrm{D}} - V_{\mathrm{C}} = -M\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} = -0.50[\mathrm{H}] \cdot \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

各グラフの傾きより

$0 < t < 0.1[\mathrm{s}]$

$$V = -0.50[\mathrm{H}] \cdot \frac{-1.0[\mathrm{A}]}{0.1[\mathrm{s}]} = 5.0[\mathrm{V}]$$

$0.1 < t < 0.2[\mathrm{s}]$

$$V = -0.50[\mathrm{H}] \cdot \frac{1.0[\mathrm{A}]}{0.1[\mathrm{s}]} = -5.0[\mathrm{V}]$$

$0.2 < t < 0.3[\mathrm{s}]$

$$V = -0.50[\mathrm{H}] \cdot \frac{0[\mathrm{A}]}{0.1[\mathrm{s}]} = 0[\mathrm{V}]$$

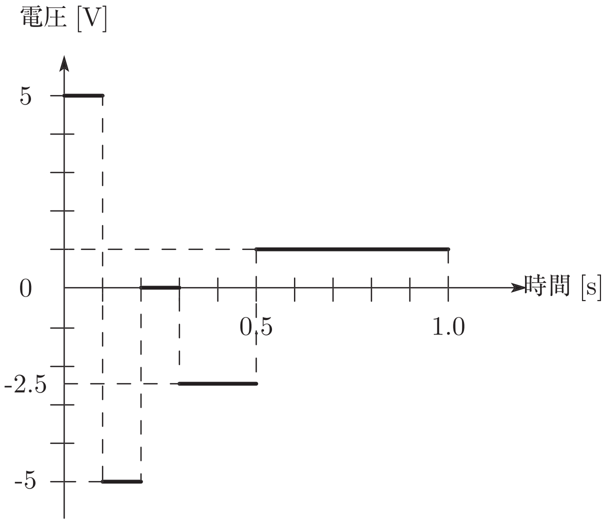
$0.3 < t < 0.5[\mathrm{s}]$

$$V = -0.50[\mathrm{H}] \cdot \frac{1.0[\mathrm{A}]}{0.2[\mathrm{s}]} = -2.5[\mathrm{V}]$$

$0.5 < t < 1.0[\mathrm{s}]$

$$V = -0.50[\mathrm{H}] \cdot \frac{-1.0[\mathrm{A}]}{0.5[\mathrm{s}]} = 1.0[\mathrm{V}]$$

グラフは次ページ



配点

(1)(i) 10 点　(ii)，(iii) 各 20 点　(2) 根拠 30 点，グラフ 20 点

P3T

難関大物理／難関大物理 T

Z-KAI

会員番号		氏　名	