

71:単振動する導体棒の電磁誘導

○原則

①微小時間 Δt でコイルに流れる電流を ΔI とすると、コイルに発生する自己誘導起電力 V は、 $V = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ (L :自己インダクタンス) となる。

②自己インダクタンス L のコイルに電流 I が流れているとき、コイルに蓄えられたエネルギーは、 $\frac{1}{2}LI^2$ となる。

○解答の方針

II

・導体棒が停止したら、導体棒に誘導起電力は生まれません。これより、抵抗 R にかかる電圧は E となり、回路に流れる電流の値も決まります。

(4)は、導体棒は磁場の存在する場所であり、電流が流れているので、フレミングの左手の法則より磁場による力がはたらくことから考えます。この力と、ばねによる弾性力がつりあいます。

(5)は、「抵抗で消費されるエネルギー」が、抵抗で発生するジュール熱と同じ意味であることに注目します。

IV

(9)については、原則①より解答のように解いてもよいですが、「コイルを流れる電流の位相は、コイルにかかる電圧の位相に比べて $\frac{\pi}{2}$ だけ遅れる」という事実 …(*) を知っていれば次のようにも解くことができます。

コイルにかかる電圧 V_2 は、 $V_2 = a\omega_2 Bl \cos \omega_2 t$ であり、コイルのリアクタンス(=抵抗のようなもの)は $\omega_2 L$ と表されます。(←これは定義です。)

一般に、 $I = \frac{V}{R}$ なので、(*)から、 $i = \frac{a\omega_2 Bl \cos(\omega_2 t - \frac{\pi}{2})}{\omega_2 L}$ となり、これを整理すると、答えと一致します。

(10)は、コイルに蓄えられているエネルギーを求めたいので、原則②を使います。

72: はしご形回路の電磁誘導

○原則

①力 f がある物体を一定の速度 v で動かすとき、単位時間あたりにする仕事は fv で表される。

←(仕事)=(力)×(距離)なので、これを時間で割れば、単位時間あたりにする仕事になることから原則①が導けます。

○解答の方針

・問1について、AF, BE, CDに発生する誘導起電力は、フレミング左手の法則より考えると、それぞれF, E, Dのほうが高くなります。

また、ACとFDに働く力の向きは回路に垂直であり、この力によって電流が回路を流れることはないので、AC, FDに誘導起電力は生じないといえます。

・問2は、2つの巡回路がどちらも閉回路になっているので、キルヒホッフの第二法則が使えます。

実際にBE間を流れる電流を計算してみると、BE間に発生する誘導起電力によって流れるはずの電流とは逆向きに電流が流れることになってしまいます。しかし、誘導起電力は仮想的なものなので、このような矛盾が生じてしまっても問題ありません。

・問3は、解説 p. 204にある電流の向きからフレミング左手の法則を使い、導線が磁場から受ける力の向きを求められます。

外力 f が単位時間あたりにする仕事は、原則①から簡単に求められます。

73：変圧器

○解答の方針

問題文中に与えられた(ii)式は、覚えておくべき式です。また、電位差の向きにも気を付けましょう。

・問1(1)は、スイッチSが開いていることから $I_2 = 0$ であることに気付ければ解けます。

(4)は、キルヒホッフ第二法則に基づいて考えます。

ここで、 $T < t$ のときも回路に電流は流れていることに注意しましょう。流れる電流の量が変化しなくなればコイルを貫く磁束の数にも変化はなくなり、誘導起電力は生じなくなることから、 $T \leq t$ で回路に流れる電流の量は等しいといえます。

・問2(2)について、コイル2には、上から下向きに増える磁束を打ち消すような向きに電流が流れるよう、誘導起電力が発生します。

(3)は、問題文中の(i)(ii)と、コイル2を含む回路のキルヒホッフ第二法則の式を組み合わせることで答えを求めます。

74：RLC 直流回路、交流回路

○原則

①コイルは、交流電源につながれたときに自己誘導起電力を発生させるが、直流電源につながれた場合は単なる導線として扱える。

②電圧 V のかかったコンデンサーに電気量 Q の電荷が蓄えられているときのコンデンサーのエネルギーは、 $\frac{1}{2}QV$ である。

③抵抗、コンデンサー、コイルが交流電源に接続されているとき、消費される平均電力はそれぞれ、 $\frac{1}{2} \times$ (直流電源に接続したときの消費電力)、 0 、 0 である。

④抵抗、コンデンサー、コイルが交流電源に接続されているとき、それぞれ電圧の位相は、電流の位相に対して 0 、 $-\frac{\pi}{2}$ 、 $\frac{\pi}{2}$ 進んでいる。

⑤交流電源の角速度が ω であるとき、電気容量 C のコンデンサー、自己インダクタンス L のコイルのリアクタンス(抵抗のようなもの)は、それぞれ $\frac{1}{\omega C}$ 、 ωL となる。

○解答の方針

・問1について、抵抗2とコンデンサーがつながれた回路は、コンデンサーの充電が終わっているとして電流は流れないとしてよいでしょう。コイルと抵抗1がつながれた回路については、原則①よりコイルの存在を無視できるので、抵抗1と直流電源のみの回路であるとして計算します。

・問2は、コイルとコンデンサーに蓄えられていたエネルギーについて考えます。

コンデンサーのエネルギーについては原則②を、コイルのエネルギーについては71:単振動する導体棒の電磁誘導の原則②を参考にしてください。

・問3(1)は、解説のように計算してもよいですが、原則③を知っていれば簡単です。

(2)は、問題文より P_2P_4 間と P_3P_4 の電位差が等しいことから、抵抗1とコンデンサーには同じ電圧がかかっていることが分かります。

解説のやり方の他に、原則④⑤を使って以下のようにしても解けます。

コンデンサーには $R_1 I_0 \sin \omega t$ の電圧がかかっており、コンデンサーは電圧に対して電流の位相が $\frac{\pi}{2}$ 進んでいるので、 $I_c = \frac{R_1 I_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})}{\frac{1}{\omega C}} = \omega C R_1 I_0 \cos \omega t$ となります。

(4)は、71:単振動する導体棒の電磁誘導の原則①を使うことで、(3)の表し方の他にもう一つコイルにかかる電圧を表せることから、解いていきます。

75: 交流回路の共振

○解答の方針

I

(1)は、 V を抵抗・コイル・コンデンサーにかかる電圧の和として式を立てます。

(5)(6)の変形はやや難しいですが、問題文中の不等号 \ll や \gg から、近似式を使って整理できるのではないかと予想して式変形を行っていきます。

(7)は、 $\omega = 1.5 \times 10^{-3}$ のとき最大値をとることと、 ω が0と ∞ に近づいたときに、電流が0に近づくことが分かる図が書ければ正解です。

II

(8)(9)は、74:RLC直流回路、交流回路の原則④から求めます。

(11)(12)は、それぞれのインピーダンス(抵抗のようなもの)がどんな値になるかを考えます。

(8)(9)で求めた値は $\omega = \omega_2$ のときのみ成り立つ電流の値なので、ここに $\omega \gg \omega_2$ や $\omega \ll \omega_2$ を代入しても正し

い答えは求まりません。

76：過渡現象、電気振動

○原則

- ①コイルに電源をつないだ直後は、自己誘導作用が働くためにコイルに電流は流れない。
- ②コイルと電源を切り離れた直後は、自己誘導作用が働くために元々コイルに流れていた電流が流れ続ける。
→①②から分かるように、コイルは自己誘導作用を働かせて元の状態を保とうとします。…(*)
- ③電磁波とは、電場と磁場が互いに直交して発生し、空間を波のように伝わっていくもののことである。

○解答の方針

I

- ・問1は、原則①より実際に回路に流れる電流は I_2 だけになることに注意します。

II

- ・問2は、図より電池は直流電源であることが分かるので74：RLC 直流回路、交流回路の原則①を参考にして考えます。

電流計→コイルの回路には電圧差が生じていないので、電流計→コンデンサーの回路にも電圧差は生じていません。

III

- ・問4は、スイッチSを開いた直後なので原則②より I_1 はすぐに分かります。また、すでに電池から切り離されていることから、 $I_1 + I_2$ が成り立つはずです。

- ・問5の結果は暗記してもよいでしょう。

- ・問8は、コイルとコンデンサーにエネルギー保存則を適用します。

- ・問10は、電磁波ができる仕組み(定義)についての解答が求められています。原則③を参考にしましょう。

77：比電荷の測定

○原則

- ①一様な電場Eが距離dに存在するとき、その間の電位差Vは、 $V = Ed$ となる。

- ②電場Eが存在する空間で電荷eの粒子が受ける力Fは、 $F = eE$ となる。

→①②が成り立つことは、F, E, V の定義式から確認できるでしょう。

- ③電荷 e をもつ粒子が磁束密度 B の磁場の中で、磁場に垂直な向きに速さ v で運動するときに受ける力 F(ロー

レンツ力)は、 $F = eBv$ となる。

○解答の方針

I

・問2は、原則①②をうまく使うことで、 y 軸方向の運動方程式を立てます。

・問3について、上の電極の電位の方が高い偏光板の間では、電子は下から上に力を受けています。 $(-e < 0)$ したがって、点Pでは、電子の速度の方向は正の y 軸方向です。

ここで、フレミングの左手の法則より、電流の向きを負の y 軸方向(電流と電子の動く向きは逆向き)、磁場の向きを正の z 軸方向とすると、電子が点Pで力を受ける向き(親指)は負の x 軸方向となります。

電子が磁場から受ける力は原則③を使って求められるので、円運動の運動方程式を立てて解きます。

II

・問5は、問3の逆を考えます。

・問7は、点Pを出発してからQに到達するまでの時間を求める必要がありますが、 z 軸方向の電子の速さは変わらないことに注目して求めます。

III

・問8について、円運動の周期は v_y によらないことに気付ければ、電子が z 軸上にいる時間はどんな v_y でも同じ($t = \text{周期の整数倍}$)であることから求めます。

78：荷電粒子の電磁場中の運動

○原則

①磁場からうけるローレンツ力によって粒子が円運動するとき、磁場と垂直な方向に動く粒子がどんな速度であっても、周期は等しい。

○解答の方針

荷電粒子は、磁場のかかっている領域では円運動をし、電場の存在する領域では加速(または減速)運動をすることがわかっているならば簡単です。

・粒子が $y > 0$ で半円運動をしたあとは、 $-l < y < 0$ を電場の向きとは逆向きに動くので減速していきます。したがって、粒子が $y = -l$ にたどり着けるかで軌道が変わってきます。

・問5は、原則①を使って多少楽に計算できます。原則①は覚える必要はなく、問1で求めた周期の値に、速度に関する文字が入っていないことから考えればよいでしょう。

・問8は、図を描いて粒子の運動の軌跡を確認すると分かりやすいです。

79 : ベータトロンの原理

○原則

①電流は、単位時間に導線のある部分を通過する電気量のことである。

②N回巻かれたコイルと貫く磁界に変化があったときのコイルの誘導起電力Vの大きさは、 $V = \left| N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \right|$ となる。

(ファラデーの電磁誘導の法則)

○解答の方針

・問1(2)は、電子1つが円運動をしているという設定なので、電子1つの電気量eを使って原則①から求めます。

・問2(1)は、電子の動く軌道が導線だと考えれば、原則②よりN=1として誘導起電力を求められます。また、この誘導起電力は電場に沿って発生しているので、 $V = Ed$ の関係からdは円周の長さになります。

(2)は、76 : 過渡現象、電気振動の原則の(*)部分を参考にして考えます。

つまり、磁束の増加を妨げる向きに誘導起電力(さらに誘導電場)が発生します。

(3)は、運動方程式が成り立つことを確認します。

(4)は、まず $\phi(a)$ と $b(a)$ の関係について調べたいので、 $B(a, t)$ を使って表します。

また、 $\frac{\phi(a)}{\pi a^2}$ が何を表しているのかわかれば、後半の問いにも答えられます。

80 : ホール効果

○原則

①等電位線は、電場に垂直な向きになる。

○解答の方針

・(1)(2)について、 $V = Ed$ という関係式より、ある2点における電位差Vは、電流が流れる方向(=磁場の発生する向き)と平行な距離の長さに比例することが分かります。

・(3)は、79 : ベータトロンの原理の原則①から求めます。

・(4)は、フレミング左手の法則より、電流(中指)はy軸方向正の向き、磁場(人差し指)はz軸方向正の向きより、粒子が受ける力の向きが分かります。

・(8)は、問題の設定より $V_d = V_e$ です。これより、1本の等電位線は線分 de になります。これは、x 軸方向の電場と、y 軸方向の電場の合成電場に垂直な方向になっていることが原則①から分かります。

今回、電場は途中で曲がったりしていないので、他の等電位線も線分 de に沿って平行に引くことができます。