物理学Ⅱ　レポート問題 ⑥　　　　2017年1月18日

【問6-1】　「電磁誘導のありきたりな問題」
完全導体でつくられた導体棒（斜線でハッチングされている）が同じく完全導体で作られたなめらかな2本のレール（白色）の上を図1の様に移動する。導体棒の質量は m、長さを l とする。導体棒には時刻 $t = 0$ において，初速 $\boldsymbol{v}$ が与えられている．また，レールの間には紙面に向かう方向に磁場 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{IN}}$ が印加されている．

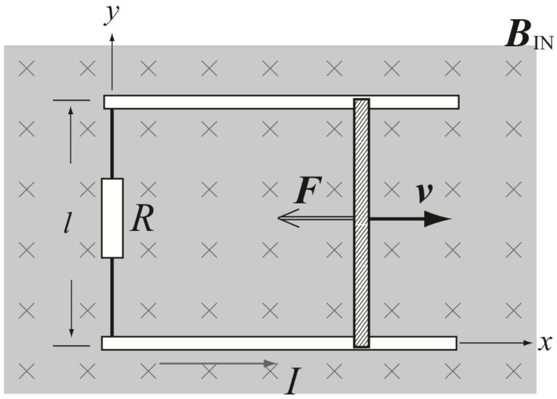

図1

(A) 「ニュートンの法則」を用いて，導体棒の速度の時間変化を示しなさい。(棒は質点として扱って宜しい。)

※ヒント　x 方向の運動方程式をたてて，$dv/v = [\quad]dt$ を積分すればよい．$\int_{x1}^{x2} dx/x = ln(x_2/x_1)$.

(B) 上と同様の結果を「エネルギー保存則」を用いて示しなさい。

※ヒント　（抵抗で消費される電力）$P = I^2R = -\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$（棒が失った力学的エネルギー）.

(C) 導体棒が止まるまでに動く距離を求め，磁場を 1/2 にする場合と，抵抗を 2 倍にする場合ではどちらの方が，距離 x が大きくなるか調べなさい。

※ヒント　導体棒が右にスライドすると，図1の回路には反時計回りに誘導電流が流れる．導体棒に $+y$ 方向に流れる電流は，$-x$ 方向のローレンツ力を生むので棒は減速する．

【問6-2】「磁場内を通過する閉回路」
長さ l，幅 w の長方形で電気抵抗 R の金属の輪が右方向（$+x$ 方向）に一定の速度 $\boldsymbol{v}$ で運動している。輪が紙面に向かう方向の一様な磁場 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{IN}}$ の領域（x 方向に長さ $3w$）を回転せず並進移動するとき．

(A) 輪の中を通る磁束 Φ_{B} と x の関係をグラフに描きなさい。但し、輪の右端を原点基準にとること。

※ヒント　輪が磁場に入る前は $F_{\mathrm{B}} = 0$，輪が全て入った後は $F_{\mathrm{B}} = Blw$．　その間を線形で結ぶ．

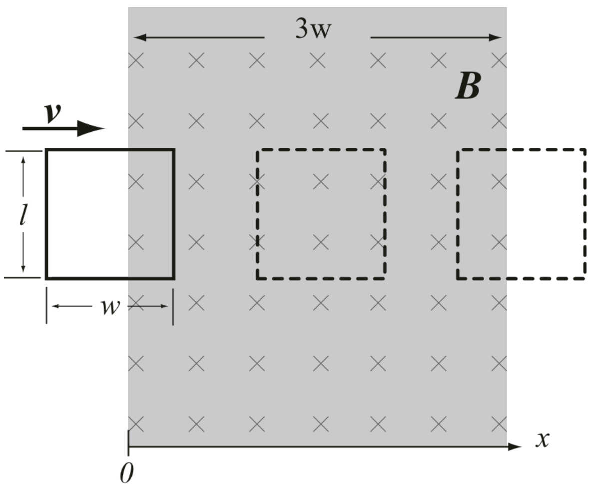

図2

問 6-2 つづき

(B) 輪に生じる運動起電力(emotional emf) ε と x の関係をグラフに描きなさい。

※ヒント　レンツの法則より，輪の中の磁束が増えるとき，誘導電流は反時計回り.

輪の中の磁束が減ずるとき，誘導電流は時計回り.

(C) 速度 v を一定に保つために必要となる輪に加える外力 F_{ext} と x の関係をグラフに描きなさい。

【問６-3】　「渦電流」

金属（板）を強い磁場内で動かしたり，金属の近くの磁場を急激に変化させると，電磁誘導効果で金属内（あるいは表面）に渦状の誘導電流（エディカレント）が生じる。このエディカレントを応用した例を一つ挙げ、その原理と利点を簡潔に述べなさい。

※　ヒント　　（例）　・　電車の渦電流式レールブレーキ

・　IH(Induction Heating)調理器

・　積算電力量計（トルクモーター）　など.

【問６-4】　「LC 回路の共振」

図３の様に起電力 E = 12.0 [V]の電池、インダクタンス L = 2.81 [mH]のコイル、電気容量　C = 9.00 [pF]のコンデンサからなる回路がある。スイッチ　S ははじめ a の位置にあり、コンデンサに電荷が溜まるのに十分な時間が経った後に b の位置に切り替え、電池を回路から切り離す。

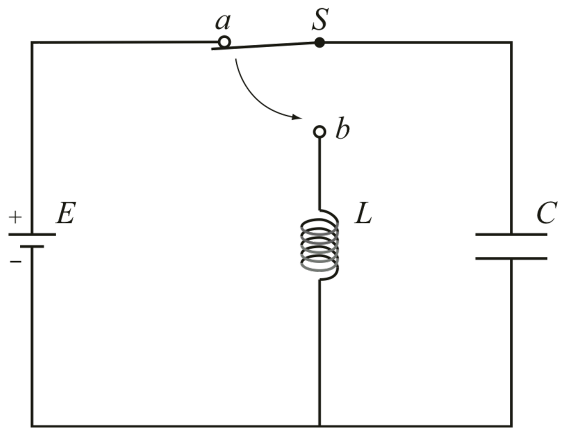

図３

(A)　この LC 回路の共振周波数を求めなさい。

※ヒント　text p.221　(26.64)式

(B)　コンデンサに溜まる電荷量の最大値を求めなさい。

※ヒント　text p.139　(22.42)式より　$Q_{max} = C\Delta V$

(C)　回路を流れる電流の最大値をそれぞれ求めなさい。

※ヒント　共鳴角振動数を $\omega = 2\pi f$ とすると，コンデンサに溜まる電荷量の時間変化は $Q = Q_{max}\cos(\omega t + \phi)$ となり，$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega Q_{max}\sin(\omega t + \phi)$

【問６-5】　「LCR 直列回路（交流回路）」

電気抵抗 R = 425 [Ω]，　コイル L = 1.25 [H]，
コンデンサ　**C = 3.50 [μF]**が，図４（上）の様に直列で繋がれて，ΔV_0 = 150 [V]，f = 60.0 [Hz]の交流電源に接続されている．尚，交流回路では全ての点において電流の振幅と位相が等しいので，図４（下）の様にそれぞれの素子にかかる電圧に$\pm\frac{\pi}{2}$の位相差が生じる．ヒントを参考にしながら，次の［　］に当てはまる数値を計算しなさい。

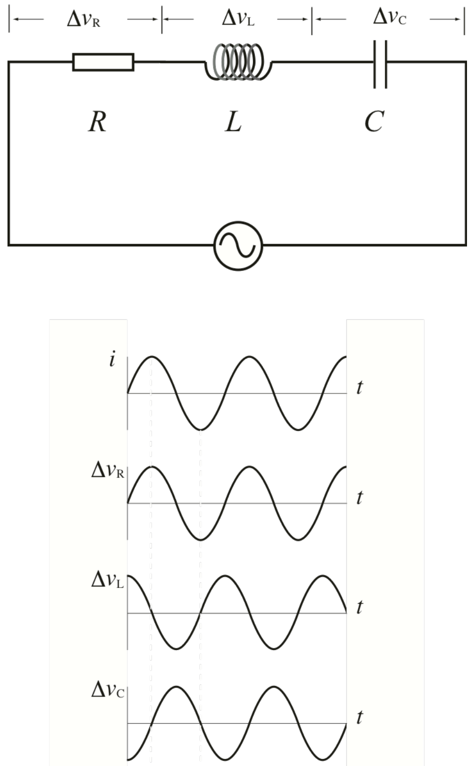

図４

(A)　コイルのリアクタンス　$X_L = \omega L =$ [　　] Ω

(B)　コンデンサのリアクタンス　$X_C = \frac{1}{\omega C} =$ [　　] Ω

(C)　回路のインピーダンス

　※ヒント　$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} =$ [　　] Ω

(D)　回路を流れる電流の最大値

$$I_0 = \frac{\Delta V_0}{Z} = [\quad] \text{ A}$$

(E)　最大電流と最大電圧の位相差

　※ヒント　$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) =$ [　　] deg.

(F) 各素子にかかる最大電圧

$\Delta v_R = I_0 R =$ [　　] V
$\Delta v_L = I_0 X_L =$ [　　] V
$\Delta v_C = I_0 X_C =$ [　　] V

> 回路に流れる電流の時間変化
> $$\mathrm{i} = I_0 \sin(\omega t + \phi)$$
> 各素子にかかる電圧の時間変化
> $$\Delta v_R = I_0 R \sin \omega t$$
> $$\Delta v_L = I_0 X_L \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$
> $$\Delta v_C = I_0 X_C \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$
> （※上図では $\phi = 0$ としている）

(G) L 以外の全ての値を固定し，L を適当な値に調節することで，最大電流と最大電圧の位相差 ϕ が丁度 30°になるようにするには，どのような値を選べば良いか．

　※ヒント　text p.219　(26.59)式より $X_L(=\omega L) = X_C + R\tan\phi$

　　L について解くと，　$L = \frac{1}{\omega}(X_C + R\tan\phi)$　　　　L = [　　] H

※　提出期限：１月２５日朝１０時３０分迄（レポート BOX に提出）計算・解の導出過程も記す事。

※　講義で省略した部分は自習しましょう。

※　講義資料ダウンロード：　http://sonicbangs.sci.hokudai.ac.jp/yanagisawa/Physics/