KEY TO FUNDAMENTALS OF PHYSICS

基本物理學習題解答

David Halliday
Robert Resnick 原著

王秉賢　鮑孟叢
吳　浩　陳顯榮　合譯

第四冊

好時年出版社印行

□ 出 版 ： 好 時 年 出 版 社 · 北角清華街八〇二號十二樓
□ 發 行 ： 香 港 文 利 出 版 社 · 香港海康街二〇號四樓
□ 印 刷 ： 大 華 印 刷 廠 · 九龍偉晴街七十號地下

Published & Printed in Hong Kong 定價：H. K. $7.35

譯者序

哈立德與雷斯尼克合著之"物理學"（physics）一書以往爲各大專院校所普徧採用之教材，唯鑒於內容過重，往往教學時間不敷，復經修訂，精簡裁併，更名爲"基本物理學"（Fundamentals of Physics）。以觀念的樹立爲主體，輔以習題配合重點，易於融會貫通，是改編後最大特色。

譯者根據本身求學的經驗，最迫切需要者，就是能手持一册健全的譯本與詳盡的習題解答以供翻閱，無論對學習的信心與觀念的建立都能有效地加強，乃着手整理翻譯，將原書分成譯本與解答計單行本八册、合訂本四册。全書分四部分，由對本科具有深度素養的專人分別負責，於含糊籠統處，力求鞭辟入其精髓，期使讀者收事半功倍之效。且譯文解答可前後對照，附以詳細圖示及列式，一眼即能觸類旁通，迅速樹立正確統一的觀念，訓練正確的思考過程；這也正是原書所一直要表現的精神。

然譯者才疏學淺，雖是謹慎從事，個人學識經驗有不逮處，難免疏漏，尚祈各界賢達不吝賜教是幸。

譯者　謹識

*哈立德（David Halliday）與雷斯尼克（Robert Resniok）合著物理學，紐約偉利公司（Wiley）1966 年出版。

基本物理學習題解答

第 四 册

目　　次

第三十四章　電磁振盪

Electromagnetic Oscillations

34－1　有一10 毫亨的電感器及5.0和2.0微法的二電容器，將這些元件以各種方法結合可得什麼振盪頻率？

解　已知　$C_1 = 5$ 微法拉，　$C_2 = 2$ 微法拉；$L = 10$ 毫亨利．

此三種元件可有四種接法：

(i) 如圖　$C = C_1 = 5$ 微法拉，

由公式　$f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{(10\times10^{-3})(5\times10^{-6})}}$

$= 710$ 週／秒．

(ii)　$C = C_2 = 2$ 微法拉，

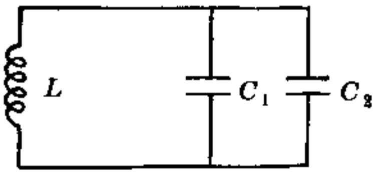
則　$f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{(10\times10^{-3})(2\times10^{-6})}}$

$= 1100$ 週／秒．

(iii)　$C = C_1 + C_2 = 5 + 2 = 7$ 微法拉，

則　$f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{(10\times10^{-3})(7\times10^{-6})}}$

$= 600$ 週／秒．



(iv) $$C=\frac{1}{1/C_1+1/C_2}=\frac{1}{1/5+1/2}=\frac{10}{7}\text{ 微法拉,}$$

則 $$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{(10\times10^{-3})(10/7\times10^{-6})}}$$
$$=1300\text{ 週／秒 .}$$

34－2 有一1.0毫亨的電感器，你如何使它以 1.0×10^6 週／秒振盪？

解 已知 $L=1$ 毫亨利，$f=1\times10^6$ 週／秒 .

由公式 $$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

即 $$LC=\frac{1}{4\pi^2f^2},$$

所以 $$C=\frac{1}{4\pi^2f^2L}=\frac{1}{4\pi^2(10^6)^2(10^{-3})}$$
$$=25\text{ 微微法拉 .}$$

34－3 一可變電容器的變化範圍為10～365微微法拉，一線圈結合以調諧一調幅收音機的輸入。(*a*)此電容器可調諧的最大與最小頻率的比為何？(*b*)如果此電容調諧的範圍從 0.54×10^6 到 1.60×10^6 週／秒，則(*a*)中的比將太大。現在將一（墊枕）電容與可變電容器並聯以校正其範圍。欲在所需的範圍內調整，則所加的電容器與電感器應多大？

解 (*a*) $C_{min}=10$ 微微法拉，$C_{max}=365$ 微微法拉，

由公式 $$f_{min}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{max}}},\quad f_{max}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{min}}},$$

則 $$\frac{f_{max}}{f_{min}}=\sqrt{\frac{C_{max}}{C_{min}}}=\sqrt{\frac{365}{10}}$$
$$=6:1 .$$

(*b*) 設所增加之並聯電容器為 C' 微微法拉，

$$f_{min}=0.54\times10^{6}\text{週/秒},\quad f_{max}=1.6\times10^{6}\text{週/秒}.$$

由(a)　$\sqrt{\dfrac{C'+365}{C'+10}}=\dfrac{1.6\times10^{6}}{0.54\times10^{6}}=2.95$,

即　$\dfrac{C'+365}{C'+10}=(2.95)^2=8.7$,

則　$C'=36$ 微法拉.

又公式　$f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$;

即　$LC=\dfrac{1}{4\pi^2f^2}$,

所以　$L=\dfrac{1}{4\pi^2f^2c}$,

其中　$f=f_{min}$, $C=365+36=401$ 微微法拉,

故　$L=\dfrac{1}{4\pi^2(0.54\times10^{6})(401\times10^{-12})}$

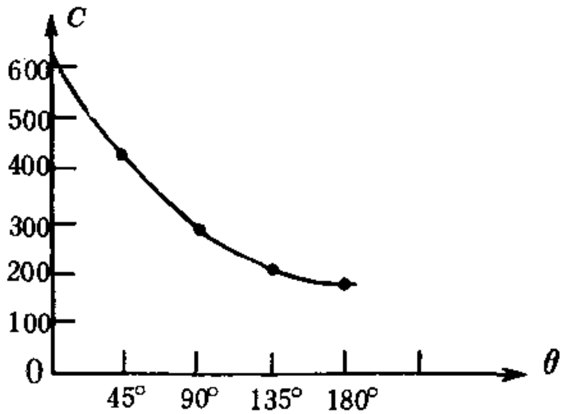
$=0.22$毫亨利. ∎

34－4　一電感加於一可由旋扭調整電容量的可變電容器，希望其 LC 振盪頻率改變量正比於此旋扭轉動的角度，當其角度轉動 180° 時，其頻率由2×10^5週／秒變動到4×10^5週／秒，如果 $L=1.0$毫亨，繪出在 180° 轉動中，C以角度爲變數之函數圖形。

解　由　$\triangle f=R\triangle\theta$, $L=1$ 毫亨利,

$$C=\frac{1}{4\pi^2f^2L},$$

θ	0°	45°	90°	135°	180°
f（週/秒）	2×10^5	2.5×10^5	3×10^5	3.5×10^5	4×10^5
C（微微法拉）	630	410	280	210	160



34－5　一 LC 振盪電路有一 0.0010 微法的電容和一 3.0 毫亨之綫圈，其峰值爲 3.0 伏，(a)電容上的最大電荷量爲何？(b)電路上的最大電流爲何？(c)線圈內以磁場形式儲存的最大能量爲何？

解　由已知　$C=0.001$ 微法拉，$L=3$ 毫亨利，$V_m=3$ 伏特．

(a)
$$q_m=CV_m=(0.001\times10^{-6})(3)$$
$$=3\times10^{-9}\text{庫侖．}$$

(b) 因
$$\frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}=\frac{1}{2}Li_m^2\ ,$$

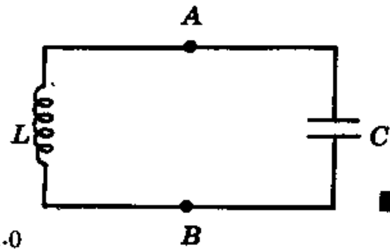
$$i_m=\frac{q_m}{\sqrt{LC}}=\frac{3\times10^{-9}}{\sqrt{(3\times10^{-3})(0.001\times10^{-6})}}$$
$$=1.73\times10^{-3}\text{安培．}$$

(c)
$$U_m=\frac{1}{2}Li_m^2=\frac{1}{2}(3\times10^{-3})(1.73\times10^{-3})^2$$
$$=4.5\times10^{-9}\text{焦耳．}$$

34－6　由迴路定理導出 LC 電路的微分方程式（由式 34－5）。

解　由圖所示，A、B 兩點間之電位差爲 $\frac{q}{C}$，或 $-L\frac{di}{dt}$

則
$$\frac{q}{c}=-L\frac{di}{dt}\ ,$$



因　　$i=\frac{dq}{dt}$,

所以　　$\frac{q}{C}=-L\frac{d}{dt}\frac{dq}{dt}$,

即　　$L\frac{d^2q}{dt^2}+\frac{1}{C}q=0.$ ■

34－7　求出一充電到300伏特的1.0微法的電阻器上的電荷量。

解　由已知　$C=1$ 微法，$V=300$ 伏特．

可得　　$U_E=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}(1\times10^{-6})(300)^2$

$=4.5\times10^{-2}$焦耳． ■

34－8　在 15×10^{-3} 秒內使一4.0亨利的電感上之電流由0升高到20 安培，其平均的供給能量爲若干？

解　因　　$\triangle U_B=\frac{1}{2}Li^2-\frac{1}{2}Li_0^2=\frac{1}{2}(4)(20)^2$

$=800$ 焦耳．

則可得　$P=\frac{\triangle U_B}{\triangle t}=\frac{800}{15\times10^{-3}}$

$=5.33\times10^4$ 瓦特． ■

34－9　例題4的電容，其半徑 $R=3.0$厘米，距離爲0.50厘米，如電容接上一60 週100伏之電源時，在 $r=R$ 處之 B 的峰值爲何？

解　由已知 $V=100$ 伏特，$d=0.5$ 厘米 $=0.5\times10^{-2}$米，$f=60$ 週．

因　　$E=\frac{V}{d}=\frac{100}{0.5\times10^{-2}}\cos 120\pi t$,

則　　$\frac{dE}{dt}=-\frac{12000}{0.5\times10^{-2}}\sin 120\pi t$,

$=-7.54\times10^6\sin 120\pi t$,

由例題4得知

$B=\frac{1}{2}\mu_0\varepsilon_0R\frac{dE}{dt}$，其中 $R=3$ 厘米 $=3\times10^{-2}$ 米,

所以 $B_m = \frac{1}{2}(4\pi\times10^{-7})(8.85\times10^{-12})(3\times10^{-2})(7.54\times10^{6})$

$= 1.4\times10^{-12}$ 韋伯／米^2．

34－10 一LC電路中的電感爲1.5毫亨，其儲存的最大能量爲1.0×10^{-5}焦耳，其電流的峰值爲何？

解 由題知 $L = 1.5$毫亨利，$U_m = 1\times10^{-5}$焦耳．

因 $U_m = \frac{1}{2}Li_m^2$ ，

所以 $i_m = \sqrt{\frac{2U_m}{L}} = \sqrt{\frac{2\times1\times10^{-5}}{1.5\times10^{-3}}}$

$= 1.2\times10^{-1}$安培．

34－11 LC電路中有一未充電的4.0微微法之電容，如果充電的最大電流爲5.0×10^{-2}安培，最後電壓爲1.0×10^{-3}伏特，則需時多少才能完成此充電工作？

解 由 $C = 4\times10^{-12}$法拉，$V = 1\times10^{-3}$伏特，

$i_m = 5\times10^{-2}$安培，

$q_m = CV = (4\times10^{-12})(1\times10^{-3}) = 4\times10^{-15}$庫侖，

因 $\frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C} = \frac{1}{2}Li_m^2$ ，

則 $\frac{1}{LC} = \frac{i_m^2}{q_m^2}$ ，

又 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{i_m}{q_m}$ ，

所以 $t = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi q_m}{2i_m} = \frac{\pi(4\times10^{-15})}{2(5\times10^{-2})}$

$= 1.3\times10^{-13}$ 秒．

34－12 證明 $\epsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt}$ 的單位爲電流．

解 由 $\Phi_E = EA = \left(\frac{牛頓}{庫侖}\right)(米^2)$，

$$\frac{d\Phi_E}{dt}=\frac{\text{牛頓-米}^2}{\text{庫侖-秒}}\quad,$$

又 $$\epsilon_0=\frac{\text{庫侖}^2}{\text{牛頓-米}^2}\quad,$$

可得 $$\epsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt}=\frac{\text{庫侖}^2}{\text{牛頓-米}^2}\ \frac{\text{牛頓-米}^2}{\text{庫侖-秒}}=\frac{\text{庫侖}}{\text{秒}}\ .$$

故 $\epsilon_0\dfrac{d\Phi_E}{dt}$ 具有電流的因次。 ■

34－13 一20 微微法的電容器的瞬間電壓峰值為 1.4×10^{-3} 伏／秒，求出其對應位移電流。

解 由題知 $C=20\times10^{-12}$ 法拉, $\left(\dfrac{dV}{dt}\right)_m=1.4\times10^{-3}$ 伏特／秒.

所以 $$i_d=C\frac{dV}{dt}=(20\times10^{-12})(1.4\times10^{-3})$$

$$=2.8\times10^{-14}\ \text{安培}.$$ ■

34－14 例5中，當 $r<R$ 時，證明其位移電流密度 j_d 為

$$j_d=\epsilon_0\frac{dE}{dt}\ .$$

解 由位移電流之定義得

$$i_d=\epsilon_0\frac{d\phi_E}{dt}\ ,$$

因 $$\phi_E=\pi r^2E,$$

則 $$i_d=\epsilon_0\frac{d(\pi r^2E)}{dt}=\epsilon_0\pi r^2\frac{dE}{dt}\quad,$$

所以 $$j_d=\frac{i_d}{A}=\frac{i_d}{\pi r^2}=\epsilon_0\frac{dE}{dt}\ .$$ ■

34－15 證明一平行平板電容的位移電流可寫成

$$i_d=C\frac{dE}{dt}\ .$$

解 由 $$\Phi_E=EA=\frac{V}{d}A\ ,$$

所以 $i_d=\epsilon_0\dfrac{d\Phi_E}{dt}=\epsilon_0\dfrac{d}{dt}\left(A\dfrac{V}{d}\right)=\epsilon_0\dfrac{A}{d}\dfrac{dV}{dt}$.

由式30－7得知

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

故 $i_d=C\dfrac{dV}{dt}$.

34－16 有一1.0微法之電容，如何使在兩平板間建立一1.0安之（瞬間）電流？

解 由題知 $C=1.0$ 微法拉，$i_d=1.0$ 安培.

因 $i_d=C\dfrac{dV}{dt}$，

即 $1.0=(1.0\times10^{-6})\dfrac{dV}{dt}$，

可得 $\dfrac{dV}{dt}=1.0\times10^{6}$ 伏特／秒.

因此當兩板間電壓的變化率爲每秒 1.0×10^{6} 伏特時，可得1.0 安培之位移電流。

34－17 在例4中，考慮 $r<R$ 及 $r>R$ 時，流經半徑爲 r 之同心圓迴路的位移電流如何隨 r 變化。

解 由 $i_d=\epsilon_0\dfrac{d\Phi_E}{dt}=\epsilon_0 A\dfrac{dE}{dt}$，

當 $r<R$ 時，$A=\pi r^2$，

所以 $i_d=\epsilon_0\pi r^2\dfrac{dE}{dt}$.

當 $r>R$ 時，$A=\pi R^2$，

則 $i_d=\epsilon_0\pi R^2\dfrac{dE}{dt}$.

34－18 由式34－10 算出光速 C 之值。

解 由式34－10知

$$C=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}},$$

因　　$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$，

$\frac{1}{\epsilon_0} = 4\pi \times 9 \times 10^9$，

則可得　$C = \sqrt{\frac{1}{4\pi \times 10^{-7}}(4\pi \times 9 \times 10^9)}$

$= 3 \times 10^8$ 米/秒．■

34－19　考慮在 $r < R$ 及 $r > R$ 之下，收集並列出下列四數量的表示方法。抄下各數量的導法，並研究圓柱形對稱下的馬克斯威方程式。

(a)半徑爲 R 的長導綫，當電流爲 i 時的 $B(r)$。（請看 30-2 節）

(b)半徑爲 R 的帶電長的均匀圓柱之 $E(r)$。（請看 24-6 節）

(c)半徑爲 R 之圓形平行平板電容，當 E 以等比率改變時產生的 $B(r)$。（請看 34-4 節）。

(d)半徑爲 R 之圓柱形區域內，均匀磁場 B 以等比率改變時產生的 $E(r)$。（請看 31-5 節）

解

	$r < R$	$r > R$
(a)	$B = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2}$	$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$
(b)	$E = \frac{\lambda r}{2\pi\epsilon_0 R^2}$	$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$
(c)	$B = \frac{1}{2}\mu_0\epsilon_0 r\frac{dE}{dt}$	$B = \frac{\mu_0\epsilon_0 R^2}{2r}\frac{dE}{dt}$
(d)	$E = -\frac{1}{2}r\frac{dB}{dt}$	$E = -\frac{1}{2}\frac{R^2}{r}\frac{dB}{dt}$

(a) 由　　$\oint B \cdot dl = \mu_0 i$

當　　$r < R$ 時，

$B(2\pi r) = \mu_0 i\left(\frac{\pi r^2}{\pi R^2}\right)$，

則　　$B = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2}$

當　　$r > R$ 時，

$$B\,(2\pi r)=\mu_0 i\,,$$

則 $$B=\frac{\mu_0 i}{2\pi r}\ .$$

(b) 由 $$\epsilon_0\oint E\cdot ds=q=\lambda h,$$

當 $r<R$ 時,

$$\epsilon_0 E(2\pi r h)=\lambda\left(\frac{\pi r^2}{\pi R^2}\right)h=\lambda\left(\frac{r}{R}\right)^2 h,$$

則 $$E=\frac{\lambda r}{2\pi\epsilon_0 R^2}\ .$$

當 $r>R$ 時,

$$\epsilon_0 E(2\pi r h)=\lambda h,$$

則 $$E=\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}\ .$$

(c) 由 $$\oint B\cdot dl=\mu_0\epsilon_0\frac{d\varphi_E}{dt},$$

當 $r<R$ 時,

$$B(2\pi r)=\mu_0\epsilon_0(\pi r^2)\frac{dE}{dt}\ ,$$

則 $$B=\frac{1}{2}\mu_0\epsilon_0 r\ \frac{dE}{dt}\ .$$

當 $r>R$ 時,

$$B(2\pi r)=\mu_0\epsilon_0(\pi R^2)\frac{dE}{dt}\ ,$$

則 $$B=\frac{\mu_0\epsilon_0 R^2}{2r}\ \frac{dE}{dt}\ .$$

(d) 由 $$\oint E\cdot dl=-\frac{d\phi_B}{dt}\ ,$$

當 $r<R$ 時,

$$E(2\pi r)=-(\pi r^2)\frac{dB}{dt}\ ,$$

則 $$E=-\frac{1}{2}r\ \frac{dB}{dt}$$

當　　$r > R$時，

$$E(2\pi r) = -(\pi R^2)\frac{dB}{dt},$$

則　　$$E = -\frac{1}{2}\frac{R^2}{r}\frac{dB}{dt}.$$

34－20　在圖34-6 中，900微法的電容原充電到100伏特，而100微法的電容並未充電，(a)詳述如何正確的使用 S_1 和 S_2 使100微法的電容充電到300伏特。(b)詳述類似此題之質點－彈簧力學系統之情形。

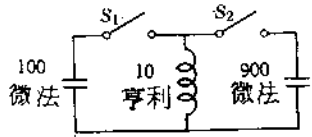


圖 34-6

解 (a)　　$C_1 = 100$ 微法拉，$C_2 = 900$微法拉，
$L = 10$亨利，　　$V_2 = 100$伏特．

先將S_2閉合 $\frac{1}{4}$週期

$$\frac{T_2}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{LC_2} = 0.15\text{秒}.$$

則　　$$\frac{1}{2}Li_m^2 = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C} = \frac{1}{2}C_2V_2^2$$

然後再迅速閉合S_1，同時啓開S_2；

待S_1閉合 $\frac{1}{4}$ 週期

$$\frac{T_1}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{LC_1} = 0.05\text{秒},$$

再打開S_1，

則　　$$\frac{1}{2}C_1V_1^2 = \frac{1}{2}Li_m^2 = \frac{1}{2}C_2V_2^2,$$

可得　　$$V_1 = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}\ V_2 = \sqrt{\frac{900\times10^{-6}}{100\times10^{-6}}}(100)$$

$$= 300\text{伏特}.$$

(b) 此與質量連接在彈簧上之振動情況類似；參閱第 7-4 節。■

第三十五章　電磁波

Electromagnetic Waves

35－1　(*a*)距無線電發射機 80 哩處，多久才能測到由天線發出的電波？(*b*)若此輻射爲太陽發出的無線電則如何？(*c*)若自一380光年遠的星座之無線電源發出的又如何？

解 (*a*)

$$t=\frac{\text{距離}}{\text{光速}}\doteq\frac{80\text{哩}\times1609\text{米/哩}}{3\times10^{8}\text{米/秒}}$$

$$\doteq4.3\times10^{-4}\text{秒}.$$

(*b*)

$$t=\frac{1.49\times10^{8}\text{仟米}}{3\times10^{8}\text{米/秒}}$$

$$=497\text{秒}=8.3\text{分}.$$

(*c*) 需要 380年的時間。■

35－2　不論光源的性質如何，若輻射場中的 E 和 B 不隨 $1/r$ 衰減，則有什麼問題發生？

解　若 E 和 B 並非與 r 成反比，則電力線、磁力線不會沿徑向外而綿延下去，也就是說能量的輸送並非處處沿徑向外，因爲能量輸送率不是與 r^2 成反比，而是與 r^{-3}，r^{-4}，r^{5} 成正比。■

35－3　進行平面電磁波的位移電流隨空間與時間變化的情形如何？

解　考慮通過$\triangle S$之位移電流 i_d

$$i_d=\epsilon_0\frac{d\phi_E}{dt}=\epsilon_0\frac{dE}{dt}\triangle S,$$

又　$E=E_m\sin(kx-\omega t)$,

則　$i_d=-\epsilon_0E_m\omega\cos(kx-\omega t)\triangle S$,

所以　$\dfrac{\partial i_d}{\partial t}=-\epsilon_0E_m\omega^2\sin(kx-\omega t)\triangle S$,