

當開關閉合，磁場開始發展，如圖所示。磁通量的變化在反方向上產生一個自感電動勢，以虛線表示。

線圈的電感 (inductance) 可以由表示式求得：

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} \quad [20.10]$$

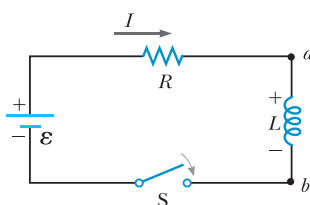
其中 N 為線圈的匝數， I 為線圈的電流，且 Φ_B 為由電流產生通過線圈之磁通量。對於一螺線管，電感給予如下：

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad [20.11a]$$

如果一個電阻器及一個電感器串聯一個電池與一個開關，在 $t=0$ 開關閉合，則在電路之電流並不瞬間升至它的最大值。在一個時間常數 (time

constant) $\tau = L/R$ 後，電流升至它的最終值 ε/R 之 63.2%。當電流趨近於它的最終、最大值時，跨電感器之電壓降趨近於零。在如此電路中經過任意時間 t 後的電流 I 為

$$I = \frac{\varepsilon}{R}(1 - e^{-t/\tau}) \quad [20.15]$$



一個串聯的 RL 電路，當電流朝其最大值增加時，此電感器產生一個電動勢以反抗增加的電流。

20.7 磁場中所儲存的能量

一載有電流 I 的電感器中磁場所儲存的能量為

$$PE_L = \frac{1}{2}LI^2 \quad [20.16]$$

在 RL 電路中，當電流達到其最大值時，所儲存之能量亦最大。

概念問題 CONCEPTUAL QUESTIONS

- 一繞行地球軌道的太空船具一導線線圈。一太空人量得線圈有一小電流，雖然沒有電池連著它，且沒有磁鐵在太空船上。電流由何造成？
- 將一磁鐵掉至銅管內，管會產出一電流嗎？試解釋之。
- 一圓形電路迴路處於一均勻磁場中，在此情形下如何讓它感應出電動勢？
- 一導線迴路置於一均勻磁場中。(a) 迴路的指向為何時，磁通量最大？(b) 指向為何時，磁通量為 0？
- 當如圖 CQ20.5 的導電棒向右移時，會有一電場向下。如果棒向左移，為何電場會向上？

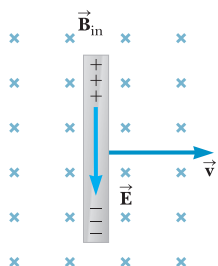


圖 CQ20.5 (概念問題 5 和 8)

- 電能如何由水壩產出 (即水的動能如何轉為交流電)？
- 在一強磁場中戴一金屬手鐲會是危險的。討論以上的陳述。
- 當圖 CQ20.5 的棒垂直於磁場移動，要一外力維持棒的等速率運動嗎？
- 當一片金屬行經一非均勻磁場，其上會誘發渦電流 (eddy current)。例如考慮一片金屬為一單擺錘，如圖 CQ20.9 所示。(a) 在位置 1，錘從無磁場處盪入方向入於頁面之場 $\vec{B}_{in}$ 中。證明在位置 1 時，渦電流的方向為逆時針的；(b) 位置 2，錘進入無場之區域，證明此情形渦電流為順時針方向的；(c) 使用右手 2 號定則證明這些渦電流產出磁力如圖所示之方向。由於感應的渦電流總是在板進入或離開磁場時產出一阻滯的磁力，擺很快就停了。

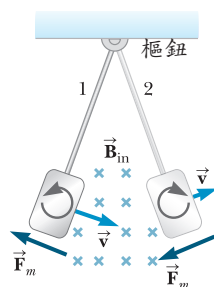


圖 CQ20.9

10. 一磁鐵棒朝著一置於地板上的導電環落下，磁鐵棒是否以自由落體的速率落下？試解釋之。
11. 有一鋁片垂直往下掉落在電磁鐵的兩極之間，則鋁棒的速度是否會受磁場的影響？提示：參考概念問題 9。

12. 當圖 CQ20.12a 的開關閉合時，線圈內的電流使金屬環往上彈起（圖 CQ20.12b），試解釋之。
13. 若圖 CQ20.12a 的電池以 AC 電源取代，當開關閉合後如果按住，則螺線管上方的金屬環會變熱，為什麼？

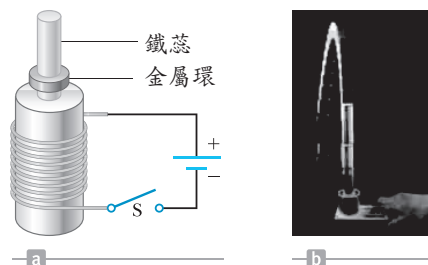


圖 CQ20.12 (概念問題 12 和 13)

習題 PROBLEMS

1. 簡易題；2. 中等題；3. 挑戰題

BIO 生醫題

GP 導引題

QIC 解出數值與概念回答

S 公式推導

20.1 感應電動勢及磁通量

- 地磁大小為 $5.00 \times 10^{-5} \text{ T}$ 通過一面積為 20.0 cm^2 的方形迴路，求磁通量。(a) 當場垂直於環的平面；(b) 當場與環的平面之法線交角為 30.0° 時；(c) 當場與環的平面之法線交角為 90.0° 時。
- 一攜有 2.00 A 電流之長直線沿一圓柱半徑 0.500 m ，長度 3.00 m 之軸置放。求通過圓柱之總磁通量。
- 一長直導線位於半徑 0.010 m 之一圓形線圈之平面內。攜有電流 2.0 A 之導線沿線圈之一直徑置放。(a) 通過該線圈之淨通量為何？(b) 若導線通過線圈環的中心且垂直於線圈平面，求通過線圈之淨通量。
- 有一 400 匝螺線管，其長 36.0 cm ，半徑 3.00 cm ，載有 5.00 A 的電流，求 (a) 線圈內中點處之磁場強度；(b) 通過螺線管中點處之截面積的磁通量為何？

stimulation, TMS) 是一種非侵入式技術，用於刺激人腦的部位。一小線圈置於頭皮上，一突發的電流通過線圈產出一變化的磁場進入腦部。感應電動勢足以刺激神經的活動。一個這樣的裝置在腦內產生一磁場，在 120 ms 中從 0 升至 1.5 T 。求在一半徑為 1.6 mm 的組織之圓圈內垂直於磁場之感應的電動勢。

6. 三個由導線所組成的迴路在一載有電流的長直導線附近，以圖 P20.6 所示的方向移動。求感應電流的方向，(a) A 迴路；(b) B 迴路；(c) C 迴路。

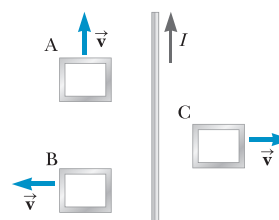


圖 P20.6

20.2 法拉第感應定律及楞次定律

5. BIO 穿透頭骨磁性刺激 (Transcranial magnetic

7. 圖 P20.7 的彈性圈具半徑 12 cm，且處於一強度為 0.15 T 的磁場。圈的 A 與 B 被抓住，並且向外拉伸一直到面積幾近於零。若用了 0.20 s 去拉扁環，在該時間平均感應電動勢的大小為何？

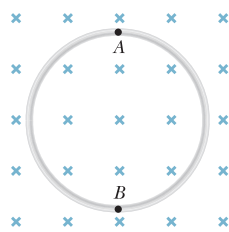


圖 P20.7 (習題 7 和 8)

8. 一半徑為 12.0 cm 的導線圓形迴路，置於與其平面方向垂直的磁場中，如圖 P20.7 所示，若磁場在某時距內以 0.050 T/s 的速率減少，則迴路的感應電動勢之大小為何？
9. 在圖 P20.9 中，當開關閉合的瞬時，電阻內的感應電流方向為何？
10. 將一磁鐵棒置於導線線圈附近，如圖 P20.10 所示，當磁鐵 (a) 往左移動；(b) 往右移動時，電阻器內電流的方向為何？
11. 求如圖 P20.11 所示之電阻器的電流的方向。(a) 在開關閉合時；(b) 閉合後數分鐘；及 (c) 在開關斷路時。

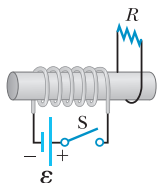


圖 P20.9

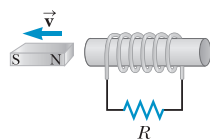


圖 P20.10

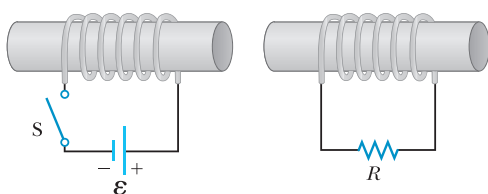


圖 P20.11

12. **GP** 一 300 匝螺線管，長 20.0 cm 且半徑為 1.50 cm，攜有電流 2.00 A。另有一緊纏該螺線管 4 匝的第二線圈，使得被視為具相同的半徑。300 匝螺線管內的電流在 0.900 s 內穩定增加到 5.00 A。(a) 利用安培定律計算 300 匝螺線管內的初始磁場；(b) 計算在 0.900 s 後，300 匝螺線管的磁場；(c) 計算 4 匝線圈的面積；(d) 計算在相同時距內通過 4 匝線圈的磁通量變化；(e) 計算 4 匝線圈內的平均感應電動勢，是否與瞬時感應電動勢相同？試解

釋之；(f) 為什麼由 4 匝線圈的電流所產生的磁場可以被忽略？

20.3 動生電動勢

13. 一寬 79.8 吋的小貨車，若以 37 m/s 的速率往北穿過一垂直分量為 $35 \mu\text{T}$ 的磁場，則貨車兩邊的駕駛和乘客間的感應電動勢大小為何？
14. 一汽車具一垂直天線 1.20 m 長。汽車以 65.0 km/h 在一水平路上行駛，於此地磁大小為 $50.0 \mu\text{T}$ ，向北且水平向下俯角為 65.0° 。(a) 要汽車天線有最大之動生電動勢，汽車要以何方向行駛？天線上端對下端為正；(b) 求感應電動勢之大小。
15. 如圖 P20.15 所示，一棒質量 $m=0.200 \text{ kg}$ ， $\ell=1.2 \text{ m}$ 且 $\theta=25.0^\circ$ ，軌道間無摩擦力。若電阻 $R=1.00 \Omega$ 且均勻磁場 $B=0.500 \text{ T}$ ，當棒滑過整個區域時，其速率 v 為何，才可以使棒沿著軌道移動？

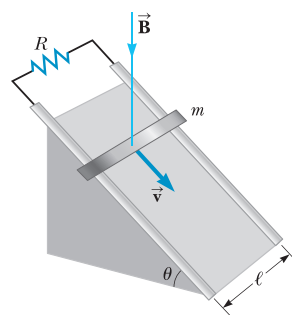


圖 P20.15

16. 如圖 P20.16 所示，若 $R=6.00 \Omega$ ， $\ell=1.20 \text{ m}$ ，且方向指入頁面均勻磁場 2.50 T，則棒的速率為何才可在電阻內產生 0.500 A 的電流？

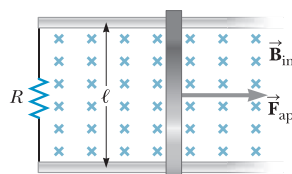


圖 P20.16

20.4 發電機

17. 一矩形導線線圈，邊長 2.80 cm，置於大小為 1.25 T 且指入頁面的均勻磁場中，如圖 P20.17

所示。若線圈有 28.0 匝，且電阻為 $0.780\ \Omega$ ，若線圈在 $0.335\ \text{s}$ 內繞著水平軸轉了 90.0° ，求線圈內 (a) 平均感應電動勢的大小；(b) 平均感應電流為何？



圖 P20.17

18. 一 100 匝方形線圈面積 $0.040\ \text{m}^2$ ，繞一垂直軸以 $1500\ \text{rev/min}$ 旋轉，如圖 P20.18 所示。地磁的水平分量為 $2.0 \times 10^{-5}\ \text{T}$ 。求由地磁所感應於線圈之最大的電動勢。

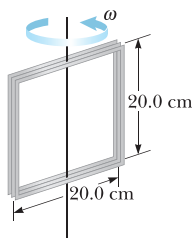


圖 P20.18

19. 一平坦的線圈閉包一面積 $0.10\ \text{m}^2$ ，以 $60\ \text{rev/s}$ 旋轉，其旋轉軸垂直於大小為 $0.20\ \text{T}$ 的磁場。(a) 若線圈具 1000 匝，線圈所感應之最大的電壓為何？(b) 若要有最大的感應電壓，線圈對磁場的指向為何？
20. 一馬達線圈具電阻 $30\ \Omega$ ，在 $240\ \text{V}$ 下運轉。當馬達於最高速時，反制電動勢為 $145\ \text{V}$ 。求線圈上的電流 (a) 當馬達剛啟動；(b) 當馬達於最高轉速時；(c) 若某瞬時，馬達的電流為 $6.0\ \text{A}$ ，此時反制電動勢為何？

20.5 自感

21. 若有一線圈內的電流在 $0.50\ \text{s}$ 內從 $3.5\ \text{A}$ 減少至 $2.0\ \text{A}$ ，且其平均感應電動勢為 $12\ \text{mV}$ ，則線圈的自感為何？
22. **S** 示出電感的兩表示式

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} \quad \text{及} \quad L = \frac{-\mathcal{E}}{\Delta I / \Delta t}$$

具相同的單位。

23. 當電流的變化率為 $10.0\ \text{A/s}$ 時，一 $24.0\ \text{mV}$ 的電動勢感應於一 500 匝線圈。若電流為 $4.00\ \text{A}$ 時，通過每一匝之磁通量為何？

20.6 RL 電路

24. 考慮示於圖 P20.24 之電路。若電感 $L = 12.0\ \text{H}$ ，電阻 $R = 4.50\ \Omega$ ，且外接 $24.0\ \text{V}$ 的電池，當開關閉合時，

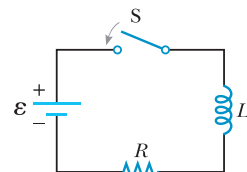


圖 P20.24 (習題 24, 25 和 26)

- 求 (a) 電磁鐵所載有之最大電流；(b) 此電路的時間常數；(c) 電流達它的最大值之 95.0 % 需時多久？
25. 如圖 P20.24，若 $R = 0.30\ \Omega$ ，在 $t = 0$ 時，開關閉合，而電路的时间常數為 $0.25\ \text{s}$ ，最大電流為 $8.0\ \text{A}$ ，求 (a) 電池的電動勢；(b) 電路的電感值；(c) 經過一倍 $0.25\ \text{s}$ 後，電流為何？(d) 經過 $0.25\ \text{s}$ 後跨接電阻兩端的電壓為何？(e) 經過 $0.25\ \text{s}$ 後，跨接電感器兩端的電壓為何？
26. 一 $25\ \text{mH}$ 電感器、一 $8.0\ \Omega$ 電阻器及一 $6.0\ \text{V}$ 電池串聯，如圖 P20.24 所示， $t = 0$ 時開關閉合。求跨電阻器之電壓降，(a) 在 $t = 0$ ；(b) 在一時間常數後。也求跨電感器之電壓降：(c) 在 $t = 0$ ；(d) 在一時間常數後。

2.7 磁場中所儲存之能量

27. 一 300 匝螺線管，具半徑 $5.00\ \text{cm}$ ，長 $20.0\ \text{cm}$ 。求 (a) 螺線管的電感；及 (b) 當電流為 $0.500\ \text{A}$ 時，儲存於螺線管之能量為何？
28. 一 $24\ \text{V}$ 電池串聯一電阻器及一電感器，其中 $R = 8.0\ \Omega$ 且 $L = 4.0\ \text{H}$ 。求儲存於電感器之能量，(a) 當電流達於最高值；及 (b) 在開關剛閉合的瞬時。

附加習題

29. 一 820 匝線圈，電阻為 $24.0\ \Omega$ ，置於一 12500 匝， $7.00\ \text{cm}$ 長螺線管之上方，如圖 P20.29 所示。線圈與螺線管均具橫截面積 $1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$ 。(a) 螺線管的電流需時多久可達它的最大值之 0.632 倍？(b) 求由螺線管自感在此時距所造成的平均反制電動勢。由螺線管在線圈的地方所造成的磁場為螺線管中心之 1.5 倍強；(c) 求在所述之期間，通過線圈之每一圈之平均的磁通量變化率；(d) 求線圈內所感應的電流之平均的大小。

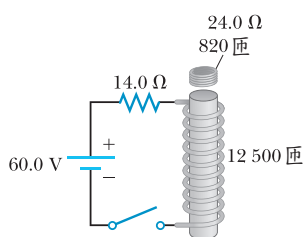


圖 P20.29

30. 如圖 P20.30 的避雷針之旁 200 m 有一 100 匝線圈指向如圖所示。若避雷針電流在 $10.5 \mu\text{s}$ 從 $6.02 \times 10^6 \text{ A}$ 降至 0，線圈所感應之平均電壓為何？假設線圈的中心距離決定在線圈之平均的磁場。將避雷針視為一長直的垂直線。

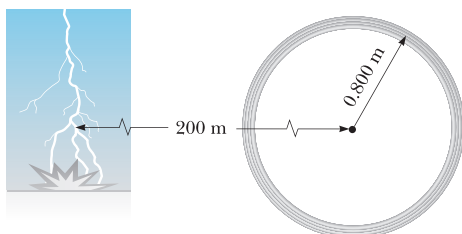


圖 P20.30

31. 如圖 P20.31 之方形環，其由導線製成，具一總串聯電阻 10.0Ω ，置於方向為垂直入於頁面之 0.100 T 均勻磁場。環被拉扯至點 A 與點 B 之間的距離為 3.00 m ，若此過程耗時 0.100 s ，產生於環之平均電流為何？電流的方向為何？

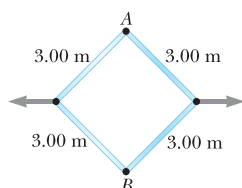


圖 P20.31

32. 示於圖 P20.32 之磁場大小 25.0 mT 進入頁面。導線有一個繞圈直徑 2.00 cm 。(a) 導線突然拉緊，在 50.0 ms 中，繞圈消失；求端點 A 與 B 之間，所感應的平均電壓為何？(b) 假設繞圈保持著，但磁場在 $4.00 \times 10^{-3} \text{ s}$ 中，增加至 100 mT 。求跨 A 與 B 端之平均電壓與極性。

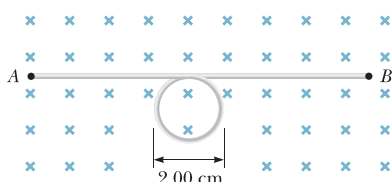


圖 P20.32

33. 一鋁環半徑 5.00 cm 且電阻為 $3.00 \times 10^{-4} \Omega$ ，如圖 P20.33，置於一空氣芯螺線管之外的頂部，螺線管每公尺長具 1 000 匝，且半徑為 3.00 cm 。若螺線管之電流以恆定時率 270 A/s 在增加，環的感應電流為何？假設由螺線管所生之在端部之磁場的大小為在螺線管內者之半倍，並假設螺線管的外側的磁場小至可忽略。

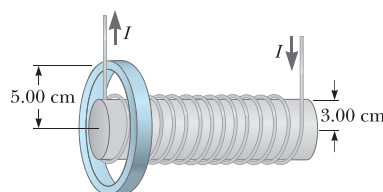


圖 P20.33

34. 圖 P20.34 中，滾動的车軸長 1.50 m ，被推以定速率 $v = 3.00 \text{ m/s}$ 沿水平軌道移動。一電阻 $R = 0.400 \Omega$ 連於點 a 與 b，兩點相對（輪與軌及車軸構成一良好的封閉電路環，唯一重要的電阻為 R）。一均勻磁場 $B = 0.800 \text{ T}$ 垂直向下。(a) 求電阻器中的感應電流 I；(b) 要使車軸保持等速率移動，所需之力 $\vec{F}$ 為何？(c) 點 a 或點 b 哪一點具較高的電位？(d) 在車軸通過電阻器後，在 R 之電流會反向嗎？解釋之。

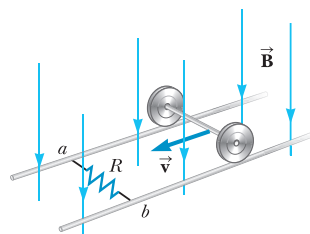


圖 P20.34

35. 一質量為 M，電阻為 R 之導電矩形迴路，自靜止進入一磁場 $\vec{B}$ 中，如圖 P20.35 所示，在迴路頂端恰好進入磁場時，其速率為 v_T ，(a) 證明

$$v_T = \frac{MgR}{B^2 \omega^2}$$

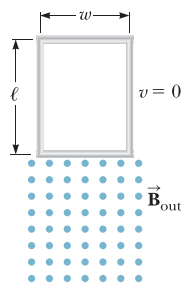


圖 P20.35

- (b) 為什麼 v_T 與 R 成正比？(c) 為什麼與 B^2 成反比？