

電與磁的統一

- ◆ 第一節 電流的磁效應
- ◆ 示範實驗二 載流導線的磁效應
- ◆ 第二節 電磁感應
- ◆ 示範實驗三 電磁感應
- ◆ 習題

我們在上一章介紹了電力與磁力，接下來將更深入地討論兩者的關係。十九世紀之前，科學家普遍認為電力來自電荷，磁力來自磁體，而且電與磁是毫不相干的現象。1820年厄斯特無意中發現電流可以產生磁場，這開啟了科學家對於電與磁之間的研究。經過安培、法拉第等人的實驗與理論探討，電與磁的密切關係逐漸明朗。最後馬克士威利用數學統合了已知的電磁定律，寫下著名的馬克士威方程式，將電學與磁學統一成電磁學。



重點概念圖

電與磁的統一

電流的磁效應

電流：單位時間流過導線任一截面的電荷。

載流長直導線的磁場

右手定則：右手拇指方向指向電流，四指彎曲方向為磁場方向。

磁力線為同心圓狀。

載流圓形線圈的磁場：線圈面兩側分別為N極與S極。

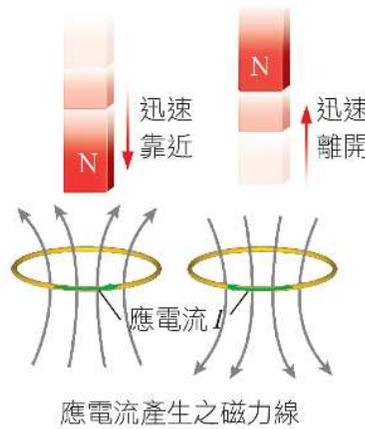
載流螺線管的磁場：類似磁棒，可做為電磁鐵使用。

示範實驗二：載流導線的磁效應（載流長直導線磁場的分布與磁場和電流及距離的關係）

電磁感應

法拉第實驗：線圈上的磁力線數量變化時，會產生應電場。

楞次定律：線圈上應電流產生的磁場方向恆在反抗磁力線數量改變的方向。



變壓器：利用電磁感應，在副線圈產生應電壓與應電流。

馬克士威電磁理論

電荷產生電場。

磁場變化產生電場。

不存在單獨的磁極。

電流與變化的電場產生磁場。

示範實驗三：電磁感應（磁棒移動時在螺線管上的應電流現象）

一、電流

科學家在十八世紀末發明了電池，並利用電池提供的穩定電流開始了一系列實驗探索。電流主要會產生兩種物理效應——熱效應和磁效應。電流通過電阻會產生熱，這是大家已經學過的電流熱效應。此外電流還會產生磁場，這即是電流的磁效應，也是這一節的主題。

首先我們介紹一些與電流有關的基本觀念。我們先只考慮電荷在導線中的流動。觀念上我們可以將電流比喻成水流，想像電荷在導線中流動就像水在水管中流動一樣。電流的定義就是單位時間內通過導線任一截面的電荷，數學公式為

5.1 式

$$I = \frac{Q}{t}$$

其中 I 代表電流， Q 代表電荷，而 t 代表時間。傳統上我們定義電流方向為從電池正極流出，

流入電池負極（圖 5-1(a)）。由於在導線中流動的是帶負電的自由電子，所以電子流動的方向恰與電流的方向相反（圖 5-1(b)）。請注意，導線仍是**電中性**的——因為導線中有靜止不動的原子核，所以整個系統的總電荷為零。

電流的單位為**安培**（ampere，簡記為 A），1 安培即是 1 庫侖 / 秒(C/s)。所以如果導線中有 1 安培的電流，則每秒大約有 6.25×10^{18} 個自由電子通過導線的任一截面。

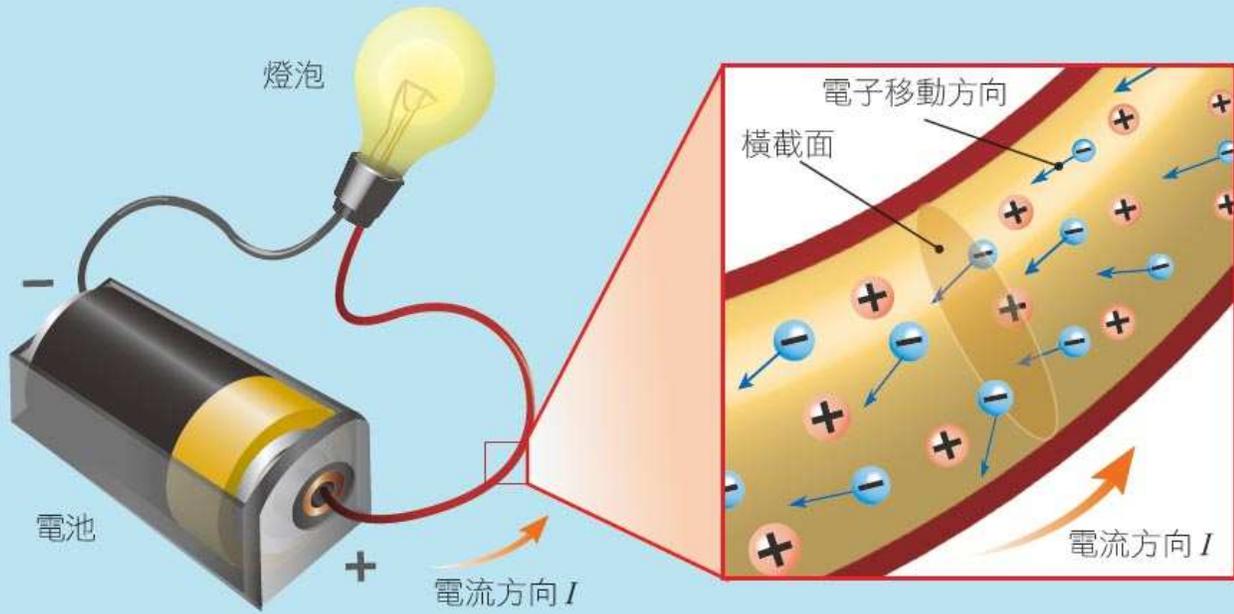
Key Point

電流指單位時間流過導線橫截面的電量。

導線上的電流方向與電子運動方向相反。

a 導線上的電流，由電池正極流向負極。

b 導線中電流方向與電子移動方向相反。



▲ 圖5-1 電流方向的判定

一、載流長直導線產生的磁場

1. 厄斯特與安培的研究

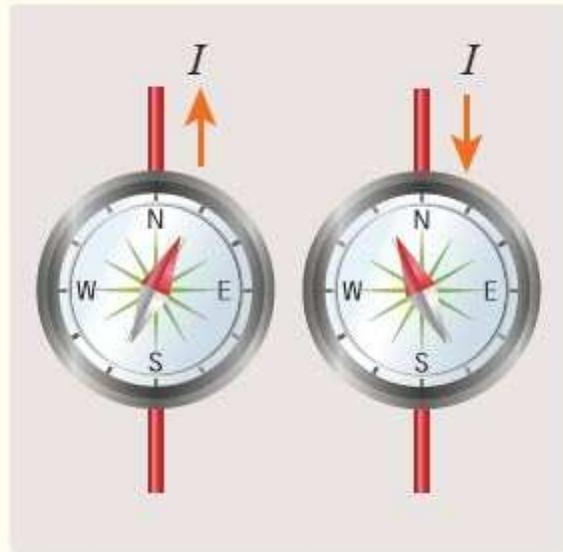
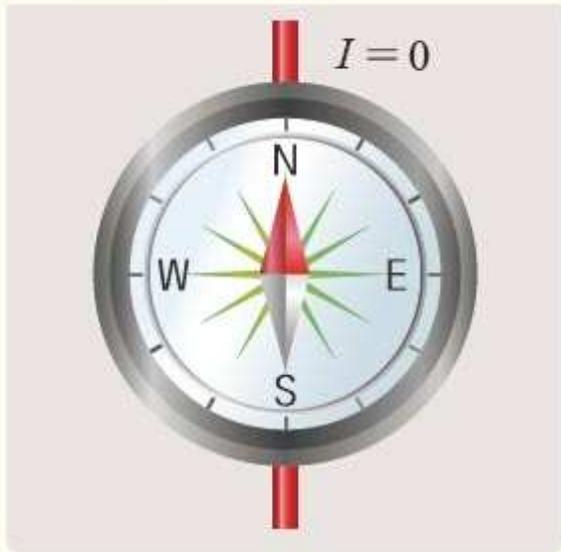
1820 年厄斯特（圖 5-2）發現極有趣的現象：當導線通有電流時，其附近的磁針會偏轉（圖 5-3），這表示電流會產生磁場。此消息隨即傳遍歐洲，引起科學界一陣騷動。這個新現象啟發了安培（圖 5-4）對電磁物理的興趣，他在聽到這個消息後，於一個星期內就寫下了他第一篇以數學公式來說明此新現象的論文。後來他持續發展這個理論，除了設計並完成很多實驗來驗證他的理論，也預測了新現象。在 1820—1826 年期間，安培建立起了描述電流與磁場關係的數學理論。



▲ 圖 5-2 厄斯特。

導線無電流時，磁針在南北向。

導線有電流時，磁針偏離南北向。



▲圖 5-3 電流的磁效應。



▲圖 5-4 安培。

2. 長直導線周圍的磁場

我們在此將只定性地說明電流的磁效應。如果將一根長直導線接上電源，使一穩定電流通過導線，周圍便會產生磁場。我們可以利用

鐵屑來看出磁力的關係。磁場的方向可以用小磁針來測定，小磁針 N 極所指的方向就是該處磁場的方向。我們觀察到在垂直於導線的平面上，磁力線是一個個以導線為中心的同心圓(圖 5-5(a))。我們可以設計更精細的實驗來測量磁場的量值。大致來說，離導線愈遠，磁場的量值愈小。

Key Point

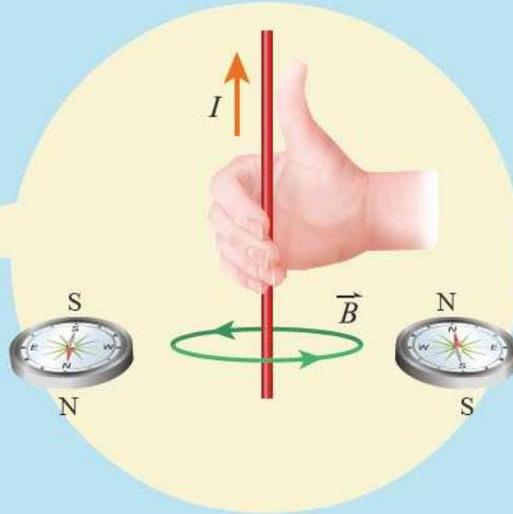
載流直導線在周圍產生環狀磁力線。

我們可簡單地用**右手定則**來描寫磁場的方向：想像用右手握住導線，平伸拇指與導線的電流方向一致，則彎曲四指即為磁場的方向(圖 5-5(b))。

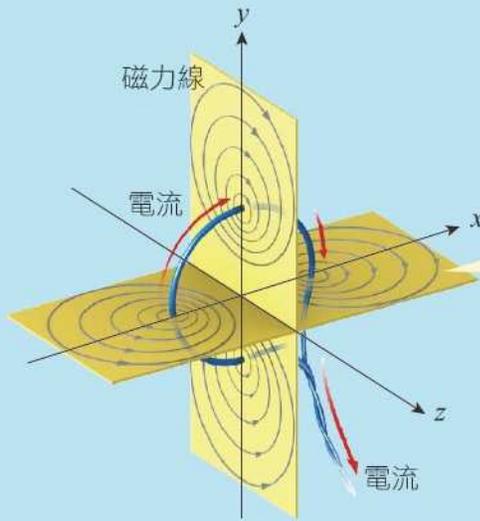
a 以鐵屑粉呈現出載流長直導線的同心圓狀磁力線。



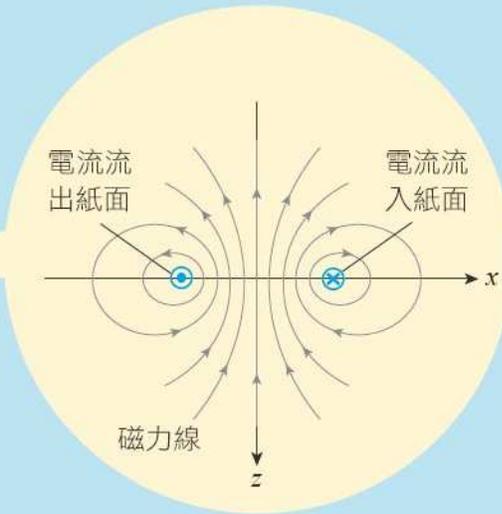
b 右手定則：拇指指向電流方向，則四指彎曲方向為磁場方向。



c 載流圓形線圈的磁場圖。



d 載流圓形線圈在 xz 平面上的磁場。



二、載流圓形線圈產生的磁場

1. 載流圓形線圈的磁場

一個載有電流的圓形線圈會產生如圖 5-5(c)所示的磁場。這種磁力線分布可以從載流長直導線的磁力線推論出來：在任一垂直線圈的平面上，很接近線圈的磁力線會近似於直導線所產生的小圓，方向由右手定則決定；線圈中心的對稱軸上的磁力線是直線，方向是朝著 $-z$ 軸的方向（圖 5-5(d)）。

2. 微小線圈的電流磁場

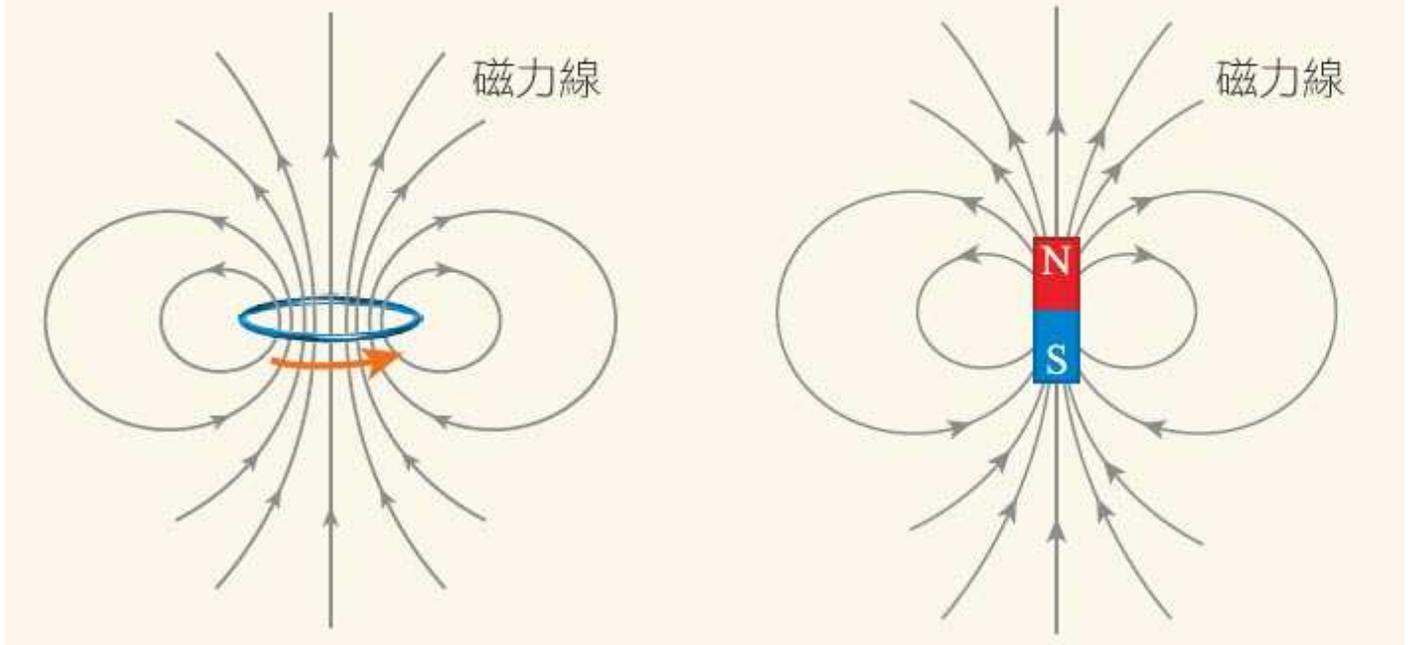
載流圓形線圈所產生的磁場與上一章討論過磁體的磁場非常相像。事實上，兩者的磁場在很遠處是相同的（圖 5-6）。所以微小的環圈電流可以看成是一個小磁體。

Key Point

載流圓形線圈造成的磁力線與小磁體相似。

a 載流圓形線圈產生的磁場。

b 磁體產生的磁場。



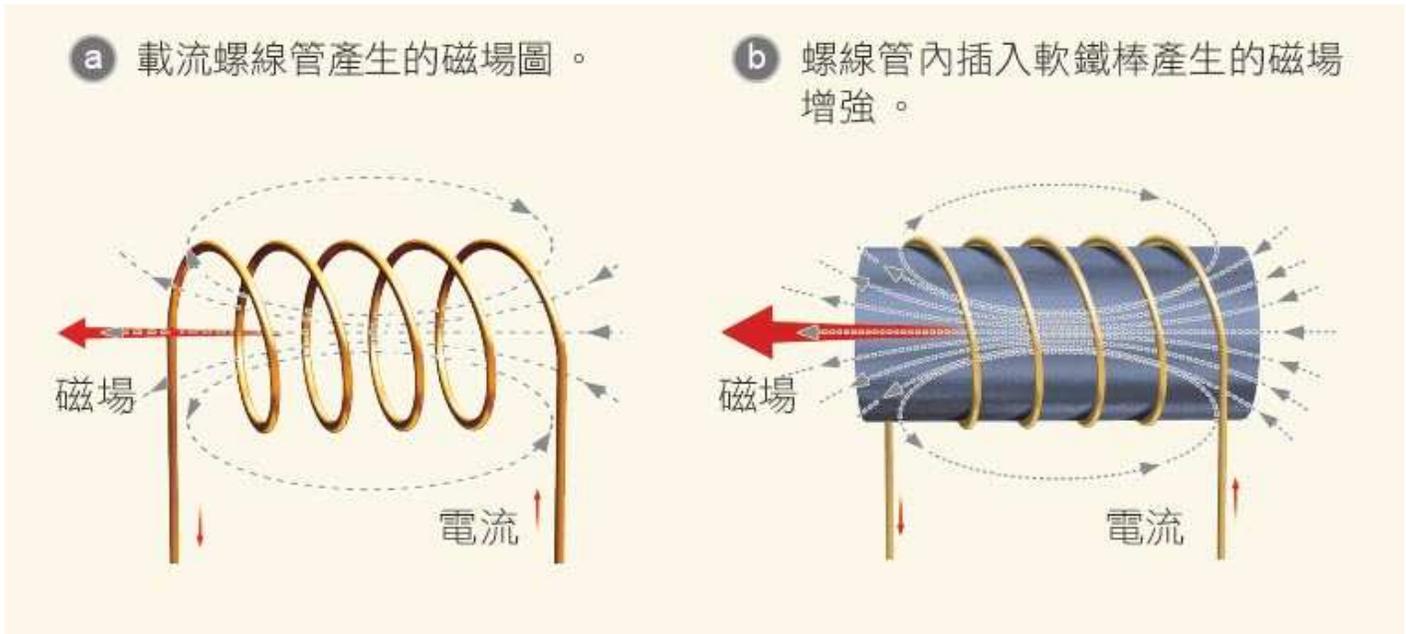
▲圖 5-6 微小的環圈電流可以看成是一個小磁體。

四、載流螺線管產生的磁場

若將導線繞成 N 個圓圈的螺旋形，並使圓圈間的距離很小，這就很像 N 個圓形線圈疊在一起，稱為螺線管(solenoid)。如果通上電流，螺線管產生的磁場量值約是單一線圈的 N 倍。如果圈數夠密，螺線管夠長，管中的磁場將相當均勻（圖 5-7(a)）。

安培發現如果在螺線管內插入軟鐵棒，就可以產生更強的磁場（圖 5-7(b)），這種現象被人利用來製作電磁鐵(electromagnet)；如果將電

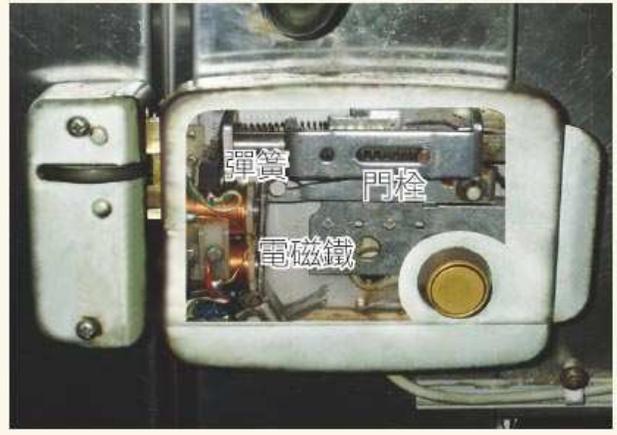
流易斷，磁場就消失。因此電磁鐵的磁性可以很容易改變和控制，所以電磁鐵在日常生活中有很多的應用，例如：電磁鐵起重機（圖 5-8(a)）、電磁門鎖（圖 5-8(b)）、音箱的揚聲器、電鈴等等。



▲ 圖 5-7 載流螺線管產生的磁場。

Key Point

螺線管可作為電磁鐵使用。



▲圖 5-8 電磁鐵的應用。

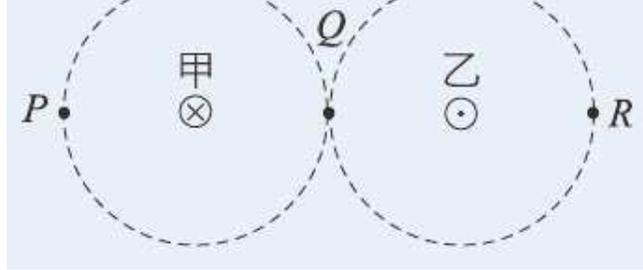
都是右手定則

我們也可以用另一右手定則來判定線圈中心對稱軸上的磁場方向：讓彎曲的四指順著線圈上的電流方向，則拇指的指向即是磁場的方向。



例題 5-1

有甲、乙兩條平行載流長直導線，垂直貫穿紙面，如圖所示。已知兩導線上的電流相等，但甲的電流進入紙面，而乙的電流流出。今紙上有三點 P 、 Q 、 R ，其中 Q 點在兩導線中點，則



(1) P 、 Q 、 R 三點處的磁場方向為何？

(2) P 、 Q 、 R 三點，何者磁場量值最大？

分析

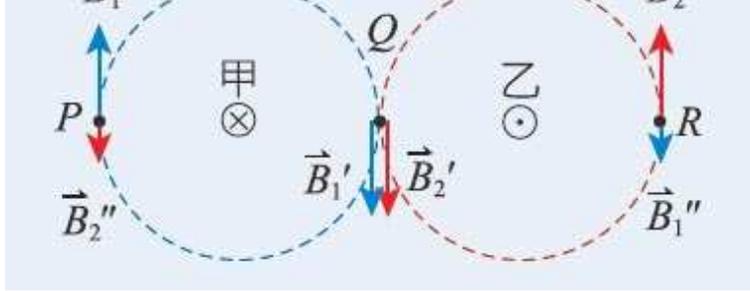
載電流長直導線周圍的磁場方向，由安培右手定則判定；而其量值隨距離增加而遞減。

解

(1) 甲導線在 P 、 Q 、 R 三點處建立的磁場為 \vec{B}_1 、 \vec{B}_1' 、 \vec{B}_1'' ，其方向如圖所示，且 $B_1 = B_1' > B_1''$ 。

乙導線在 P 、 Q 、 R 三點處建立的磁場為 \vec{B}_2'' 、 \vec{B}_2' 、 \vec{B}_2 ，其方向如圖所示，且 $B_2 = B_2' > B_2''$ 。

由磁場合成可知， P 點處磁場方向向上； Q 點處向下； R 點處向上。



(2) Q 點的磁場量值為 $B_1' + B_2'$ ，而 P 、 R 點的磁場量值 $B_1 - B_2''$ 和 $B_2 - B_1''$ ，所以 Q 點的磁場最強。

● 實驗目的

觀察載流長直導線磁場的分布情形與磁場和電流及距離的關係。

● 實驗器材



●實驗 A

一、實驗步驟

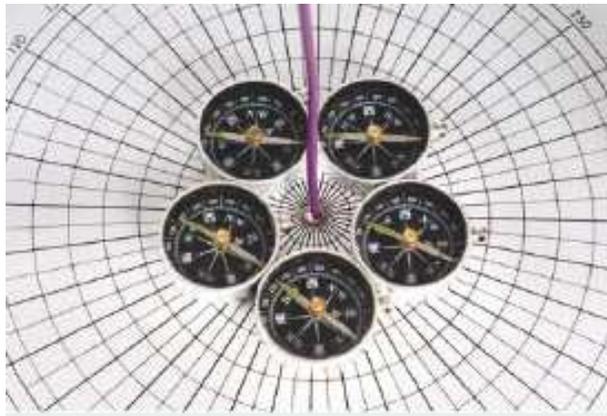
1 將中心有圓孔的鋁製圓盤用支架固定好，置於實驗桌上。



2 將長直導線連接直流電源供應器之正極（先關閉）、穿過鋁製圓盤中心圓孔，再連接到直流電源之負極。直導線上端以鐵架之橫桿拉直，使導線能垂直板面，但鐵架勿太靠近磁針。



3 將 5 個小羅盤放在鋁製圓盤上，等間隔擺在靠近直導線的周圍，觀察磁針 N 極的指向。



4 打開(ON)電源供應器的開關，調整電源供應器的電流輸出鈕，使電流逐漸增大至約為 5 安培，觀察磁針是否偏轉及 N 極的指向。



5 將導線兩端與直流電源正負極交換連接，以改變電流方向並重複步驟 4。

二、討 論

1. 載流長直導線所形成的磁場方向為何？由磁針偏轉的方向觀察，是否符合安培右手定則？
2. 直導線的電流反方向後，其磁場是否跟著反方向？
3. 將每一個磁針的 N 極和 S 極連起來，是否會形成一個圓形？如果沒有，請問原因為何？

● 實驗 B

一、實驗步驟

1 裝置如實驗 A，在鋁製圓盤上放置一個小羅盤。

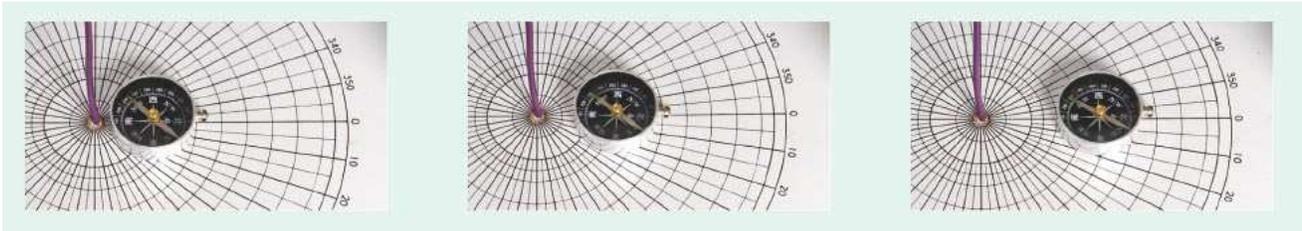


2 當導線未通電流，將小羅盤置於中央長直導線的北方，轉動整座裝置，使磁針的 N 極與小羅盤上的北刻度及鋁製圓盤上的 0 刻度對齊。



3 固定小羅盤的位置，接通開關，慢慢調整電源供應器的電流輸出鈕改變電流，每次增加 0.5 安培，至 5 安培為止，觀察指針偏轉角度的變化。

1. 使電流保持一定，改變電流的方向，將磁針置於導線北方遠離導線移動，每次移動 0.5 公分，觀察指針偏轉角度的變化。



二、討 論

1. 直導線通電流後，其附近的磁針為什麼會發生偏轉？
2. 導線上的電流愈大時，磁針偏轉的角度變大或變小？這個結果代表什麼意義？
3. 磁針離導線的距離愈大時，其偏轉的角度變大或變小？這個結果代表什麼意義？

一、法拉第電磁感應

1. 法拉第的實驗

1831年，在厄斯特發現電流磁效應十一年後，法拉第又發現另一重要的電磁現象。法拉第猜想既然電流可以產生磁場，磁場也應該會引發電流。他將一條絕緣導線繞在一個粗大的鐵環上（圖 5-9），導線繞了很多圈，作為主線圈，又將另一條絕緣導線繞在環上，形成副線圈；主線圈連接電池，副線圈連接電流計。法拉第發現在切斷或接通主線圈的電流時，連接副線圈的電流計會偏轉，也就是說副線圈上出現了電流，這個電流稱為**應電流** (induced current)，這種現象稱為電磁感應 (electromagnetic induction)。但是當主線圈上通有穩定電流時，副線圈的電流計並未有偏轉，也就是說副線圈上沒有產生應電流。法拉第發現關鍵在於磁場得要有變化，應電流才會出

現，我們先扼要介紹電場的概念。

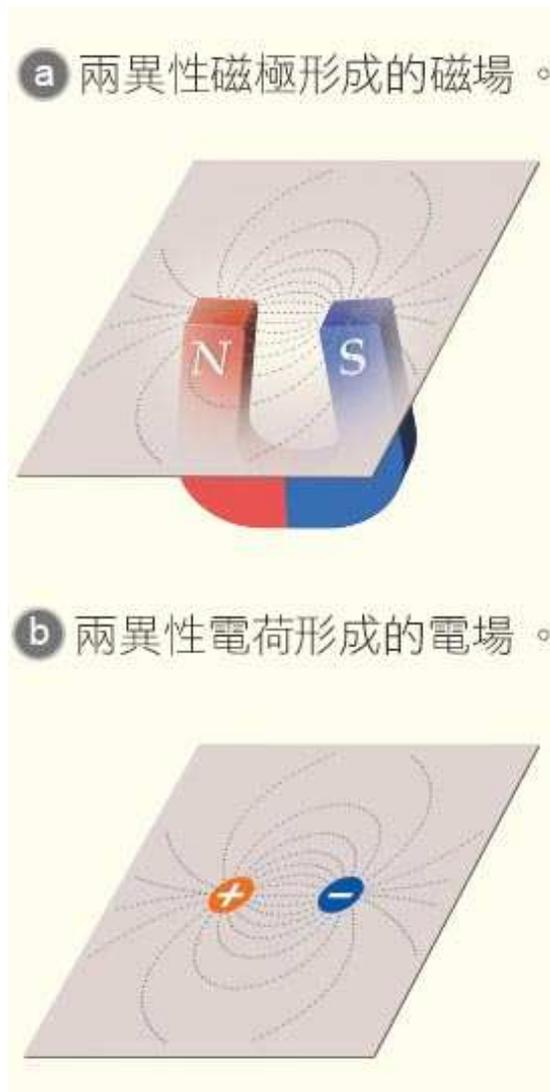
圖 5-9 電磁感應實驗



2. 應電流與應電場

之前我們介紹過以磁場的概念來討論磁力，同樣地，我們也可以引入電場的概念來討論電力：一個電荷會在其周遭空間中產生電場，當另一個電荷進入此電場之內，即會受到電力的作用，就如同磁體在磁場中會受到磁力（圖 5-10）。所以，我們可將兩電荷之間的庫侖

力。當導線連接上電池，電池提供的電壓即在導線內產生電場，導線內的自由電子受此電場作用，因而流動形成電流。



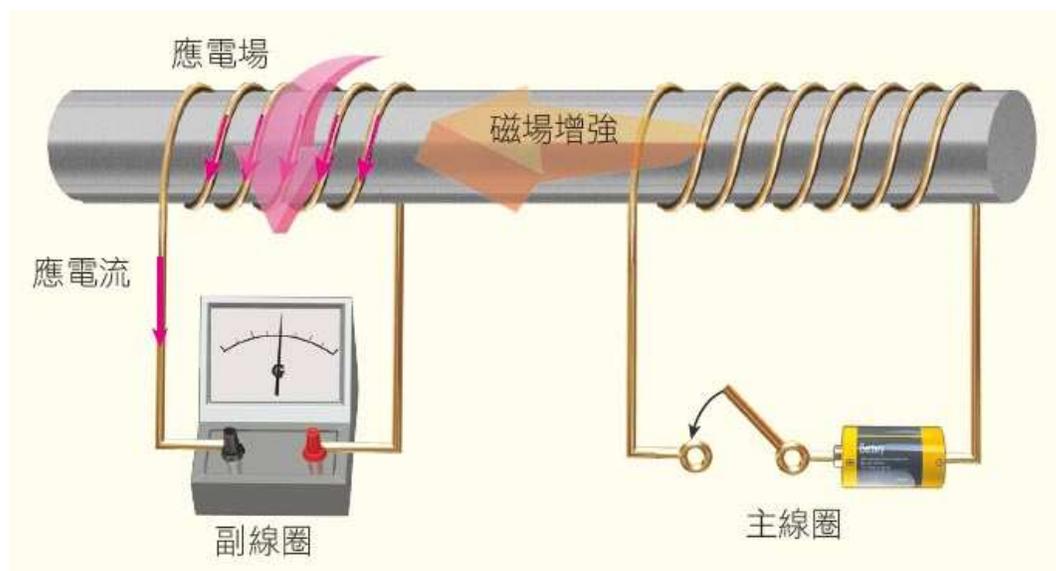
◀圖 5-10 兩異性電荷形成的電場類似於兩異性磁極形成的磁場。

依據現在的說法，法拉第的發現即是磁場的變化會產生所謂的**應電場**(induced electric field)，副線圈內的帶電粒子受到應電場的驅動而產生電流。物理學家從此得知電與磁有密切關係，這個發現使得電磁統一理論邁進一大

出了完整的電磁理論。

3. 應電流的方向與冷次定律

現在我們更仔細一點分析法拉第的原始實驗。當主線圈通有電流時，主線圈內就產生一個磁場，此磁場（磁力線）也穿過副線圈。當主線圈上的電流有變化時，此磁場就有變化，所以通過副線圈的磁場量值（磁力線數目）也跟著有變化。一旦副線圈內的磁力線數目有變化，就會產生應電場，此電場推動電荷，而產生應電流（圖 5-11）。應電流的方向取決於磁力線數目的增加或減少：副線圈的磁力線數目增加時所產生的應電流，其方向與減少時產生的應電流方向相反。



▲圖 5-11 主線圈通上電流瞬間，副線圈周圍產生應電場。

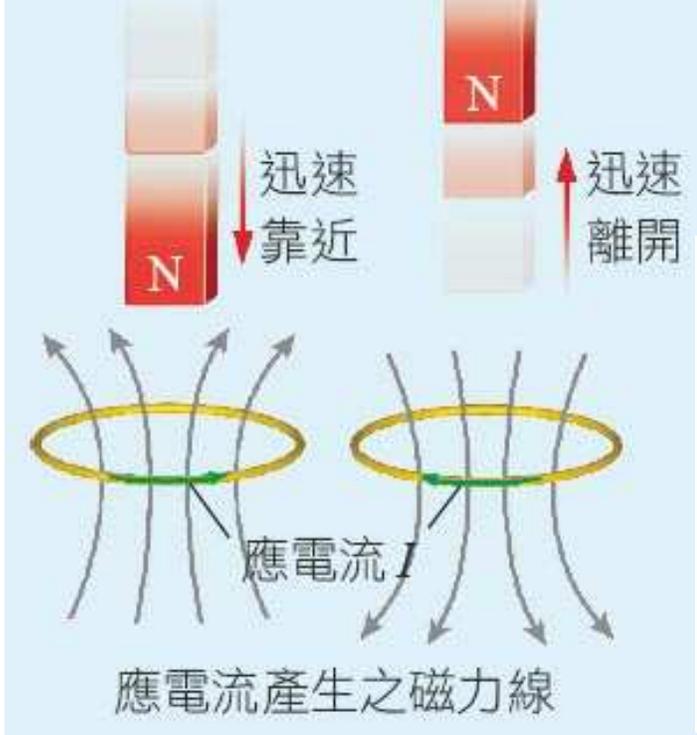
Key Point
變化的磁場產生可以推動電荷運動的應電場。

主線圈電流的功能可用永久磁鐵來取代。永久磁鐵如果在移動，通過線圈（即原來副線圈）的磁力線數目就會有所改變，磁鐵愈接近線圈，線圈附近的磁場就愈強，通過線圈的磁力線數目便愈多，線圈上將出現應電流。應電流的方向由以下的方式決定：當線圈與磁鐵間有相對運動時，線圈上將出現應電流，應電流仍會產生磁場，此磁場將阻礙兩者之相對運動，由此可判斷應電流及磁場的方向。例如說（圖 5-12），如果磁鐵的 N 極朝線圈接近，則線圈上應電流的磁場，其 N 極將朝向磁鐵使線圈對磁鐵產生斥力，讓兩者不易接近。反過來說，如果磁鐵的 N 極要離開線圈，則線圈感應的磁場之 S 極將朝向磁鐵，使線圈對磁鐵產生吸力，讓磁鐵不容易離開。這個規則稱為**冷次定**

律(Lenz's law)。一般而言，任何原因造成線圈內磁力線改變，都可應用冷次定律來決定應電流的方向。冷次定律還另有一種陳述方式，即由於通過線圈的磁場發生變化，而引發的應電流，其方向會使應電流產生的磁場抗拒通過線圈磁場的改變。

Key Point

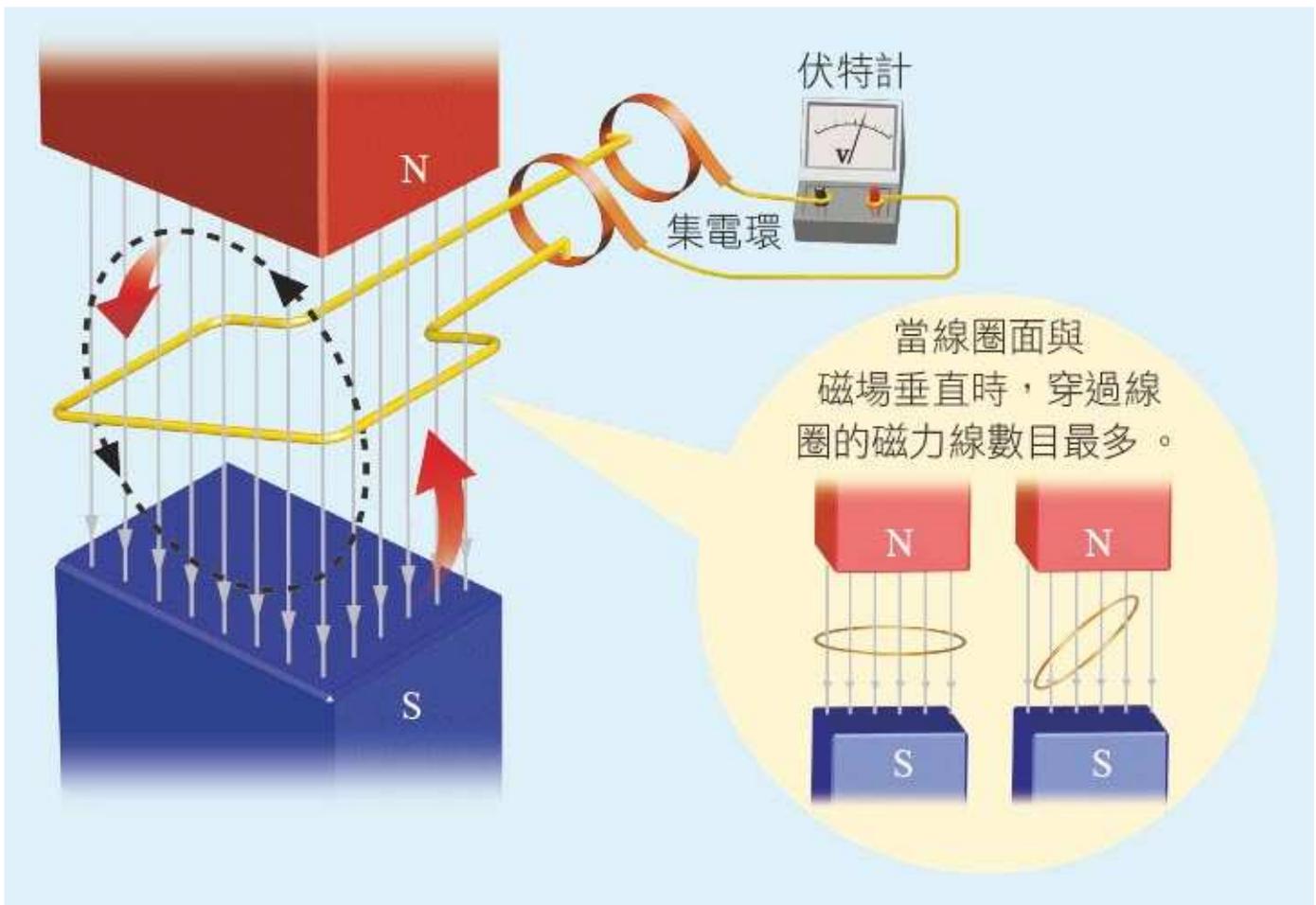
應電流產生的磁力線在抗拒磁力線改變的方向。



◀圖 5-12 冷次定律現象之一：磁鐵 N 極迅速接近或離開線圈，線圈會產生應電流，而且，應電流產生的磁場，會阻礙磁鐵與線圈的相對運動。

一、電磁感應的應用

我們可以利用法拉第所發現的現象，設計製作發電機。例如：將磁鐵兩極固定，設法讓線圈在磁場中持續旋轉，因此穿過線圈的磁力線數目會隨時間改變，這樣線圈上就產生了應電流，這就是發電機的基本原理（圖 5-13）。這種發電機產生的電壓忽大忽小，而且方向會改變，因此為交流發電機(ac generator)。



▲圖 5-13 發電機示意圖：以外力轉動線圈，使通過線圈的磁力線數目發生改變，就能在電路上產生應電流。

如果我們把兩組線圈(圖 5-14(a))繞在軟鐵心上，如之前所討論的情況，則兩組線圈可因電磁感應而相互影響，也就是說若其中一組線圈的電壓 V 產生變化，則另一組線圈中的電壓也跟著產生變化。我們可以利用這原理來製造交流電變壓器(圖 5-14(b))(只有交流電才會有**持續**的電磁感應作用)。對於理想的變壓器而言，各線圈的電壓(V_i)與線圈的匝數(N_i)成正比。

5.2 式

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Key Point

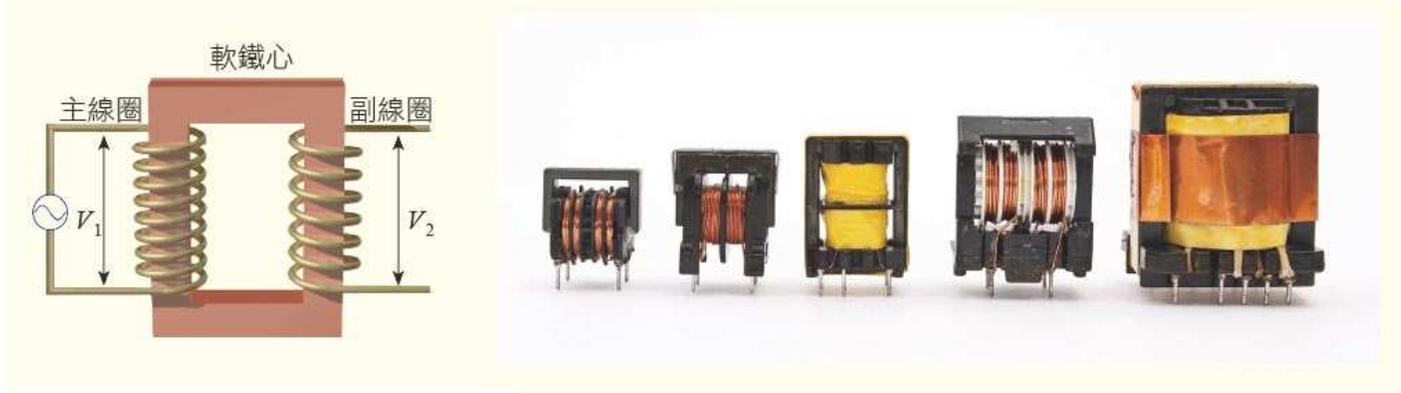


是非題

變壓器上兩組線圈的電壓與各自匝數成正比。

()發電機會將動能轉換成電能。

()變壓器可以調整直流電的電壓。

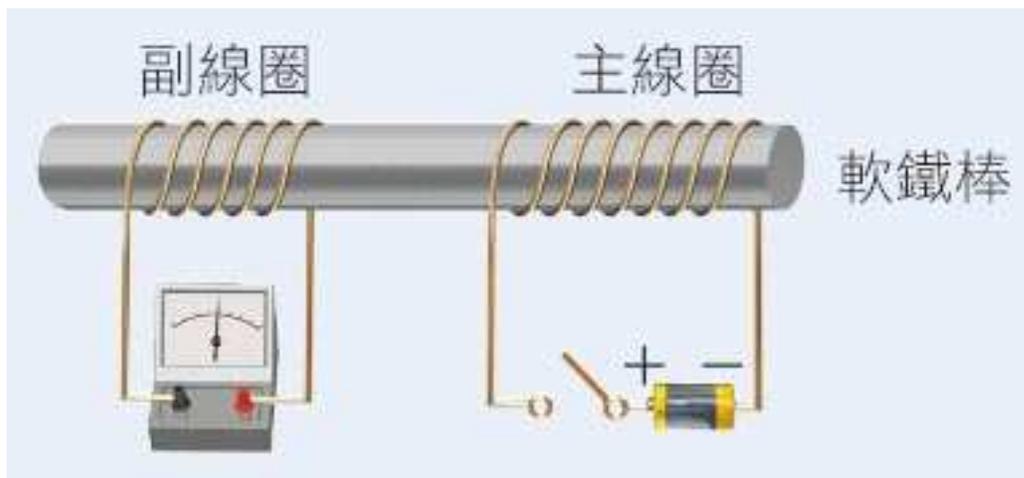


▲圖 5-14 變壓器。

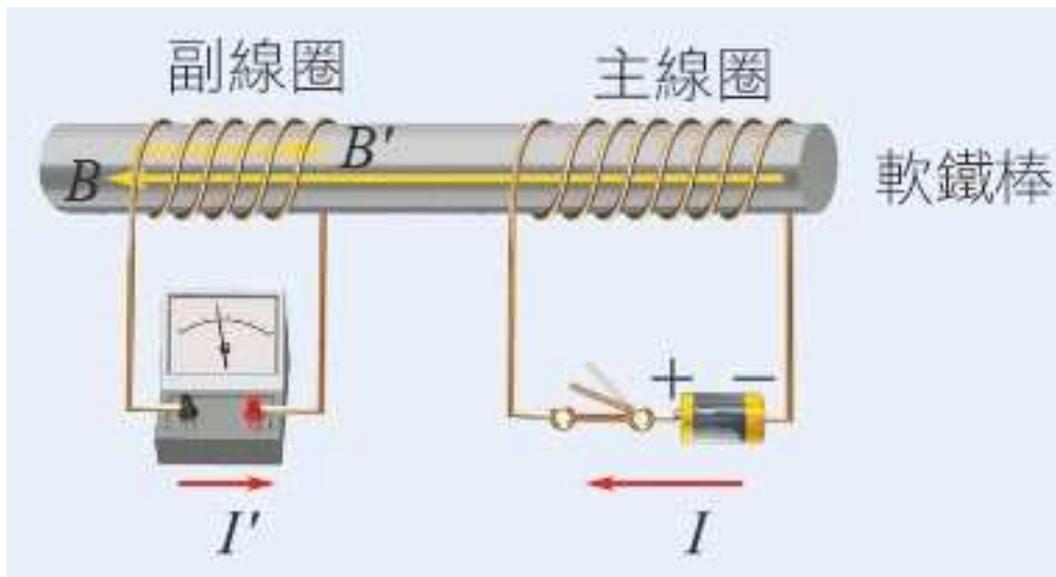
例題 5-2

如右圖，

- (1) 當主線圈的電路開關接通的瞬間，連接副線圈之電流計電流的方向為何？
- (2) 當主線圈的電路開關切斷的瞬間，連接副線圈之電流計電流的方向為何？
- (3) 當主線圈的電路開關接通一段時間，連接副線圈之電流計電流的方向為何？



(1) 依據法拉第定律。當主線圈的電路開關接通時，電流 I 使線圈內部產生磁場 B ，其方向向左，此磁力線經鐵棒引導至副線圈，副線圈內的磁場增大、磁力線數增加，故產生應電流，應電流之磁場 B' 與 B 反方向，即 B' 的方向向右，再由安培右手定則判定應電流 I' 的方向，由電流計的左邊流向右邊。



(2) 當主線圈的電路開關切斷時，電流 I 將消

失，使線圈內部產生磁場 B 減弱至零，副線圈內的磁場亦減弱，故產生應電流，應電流之磁場 B' 與 B 同方向，即 B' 的方向向左，再由安培右手定則，判定應電流 I' 的方向，由電流計的右邊流向左邊。

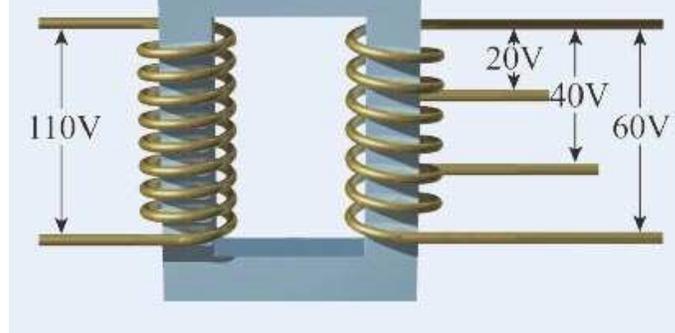
(3) 開關接通一段時間後，電流穩定，線圈內的磁場亦穩定不變，故不產生應電流。

解

(1) 由左向右；(2) 由右向左；(3) 無應電流。

例題 5-3

如圖為一個多頭輸出式變壓器，主線圈輸入 110 伏特交流電，輸出端繞有三組副線圈，輸出電壓分別為 20 伏特、40 伏特、60 伏特之交流電，若主線圈的匝數為 220 匝，問：20 伏特、40 伏特與 60 伏特副線圈之匝數分別為多少？



分析

主線圈與副線圈之電壓比等於兩線圈之匝數比

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

解

$$\frac{110}{20} = \frac{220}{N_2} \Rightarrow N_2 = 40, \text{ 20 V 之匝數為 40 匝。}$$

同法可求得，40 V 之匝數為 80 匝；60 V 之匝數為 120 匝。

三、馬克士威電磁理論

從以上的討論我們知道電流會產生磁場，



是非題

而變化的磁場會產生（感）電場。所以電與磁有不可分割的關係，統一電與磁的理論就叫做電磁學。不過就數學的完整性來說，在這個階段，理論上還有一個缺角，其最後一塊拼圖就是由馬克士威在 1861 年補上的。安培告訴我們，電流產生磁場，但馬克士威補充說，除了電流，**電場如有時間上的變化也會產生磁場**。如此一來，電場與磁場便可以相互產生。**電磁波**便是由此而來。

Key Point

變化的電場會產生變化的磁場。

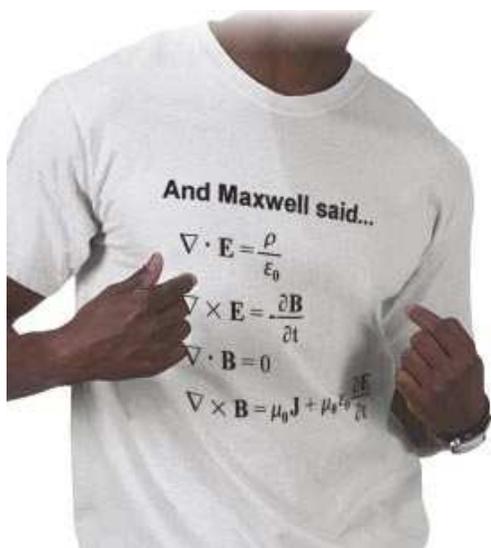
() 電荷運動會產生磁場。

() 手機通訊的微波與可見光的本質是相同

的。

馬克士威用精確的數學語言歸納當時已知的電磁現象（圖 5-15）。這些基本的現象可簡略陳述如下：

1. 電荷會產生電場（即庫侖定律）。
2. 磁場的變化會產生電場（即法拉第感應定律）。
3. 單獨的磁極並不存在（見第四章磁極的討論）。
4. 電流會產生磁場（即安培定律），電場的變化也會產生磁場。



◀圖 5-15 以現今通用的高等數學符號寫下四個馬克士威方程式，印在 T 恤上作為圖案。

的現象，這就是所謂電與磁的統一。

如果電磁場變化得很快，我們便必然要用馬克士威方程式去描述這種電磁現象。馬克士威在 1864 年發現他的方程式在真空中有電磁波解，並且計算出此電磁波的傳播速度。他還發現此電磁波速率與當時實驗上所量到的光速相當吻合，所以他推測**光是一種電磁波**。我們會在下一章詳細討論光與電磁波的現象。到了 1888 年，赫茲（Heinrich Hertz，1857—1894，德國人）在實驗室製造出了電磁波，它的特性與馬克士威所預測的一致，大家因此全然信服馬克士威電磁理論。

馬克士威電磁理論是十九世紀物理最重大的發現之一，它在能源、通訊等領域有繁多的應用，巨大地改變了我們的生活方式。二十世紀物質科學之所以能突飛猛進，電磁理論扮演了重要的角色。

● 實驗目的

觀察磁棒移動時，在螺線管上的應電流現象。

● 實驗器材

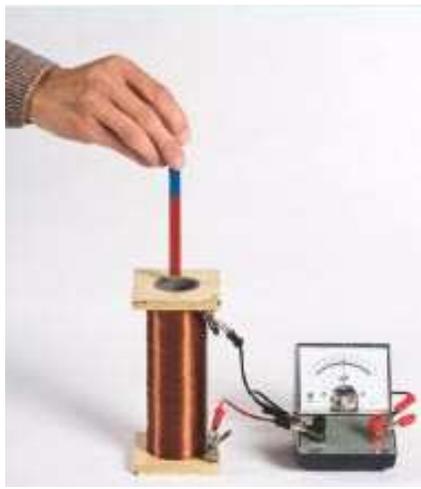


● 實驗步驟

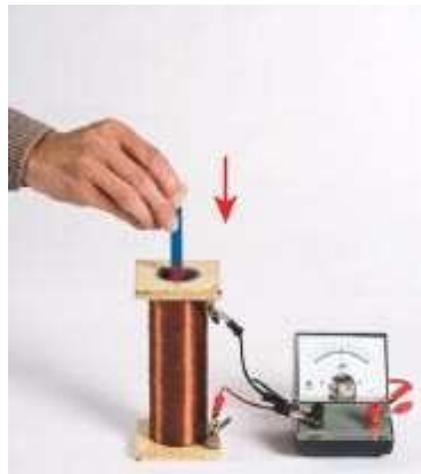
1 將一個螺線管直立，兩端分別以導線連接於檢流計上。



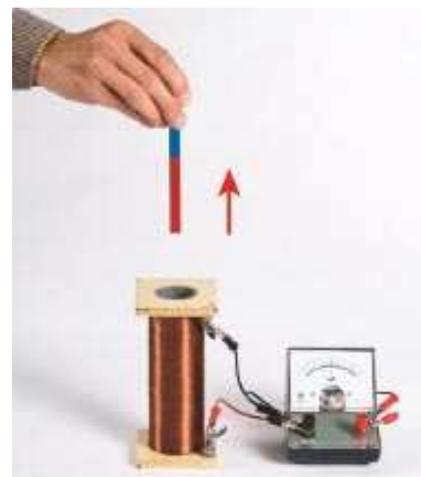
2 手持棒狀磁鐵，將 N 極朝下，且離開螺線管上端約 1 公分。保持 N 極靜止不動，觀察檢



3 將 N 極突然向下移動，觀察檢流計上的指針偏轉方向。



4 將 N 極突然向上移動，觀察檢流計上的指針偏轉方向。



● 討 論

1. N 極靜止不動時，電流計上的指針是否偏轉？
2. N 極突然向下移動，電流計上的指針是否偏轉？
3. N 極突然向上移動，電流計上的指針是否偏轉？
4. 請為這個示範實驗給出一個結論。

第一節

電流的磁效應

1. t 時間內通過導線任一截面的電荷為 Q ，則電流為 $I = \frac{Q}{t}$ ，其單位為安培(A)，1 安培等於 1 庫侖 / 秒(C/s)。在導線中電流的方向恰與電子流動的方向相反。
2. 電流通過電阻會產生熱，這是電流的熱效應。電流還會產生磁場，這是電流的磁效應。
3. 直導線通入穩定電流會產生磁場，其磁力線是一個個以導線為中心的同心圓。離導線愈遠，磁場量值愈小。
4. 安培右手定則：用右手握住直導線，平伸拇指與導線的電流方向一致，則彎曲四指即為磁場的方向。
5. 一個載電流圓形線圈的磁場方向由另一種右手定則決定：讓彎曲的四指順著線圈上的電流方向，則拇指的指向即是線圈中心對稱

- 軸上磁場的方向
6. 長螺線管如果圈數夠密，管中的磁場將相當均勻。安培發現在螺線管內插入軟鐵棒可以產生更強的磁場，這種現象被利用來製作電磁鐵。

第二節

電磁感應

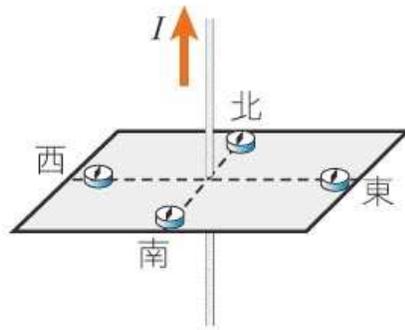
1. 法拉第發現電磁感應現象，並由磁場（磁力線）的變化，來決定應電流之方向。
2. 由冷次定律亦可決定應電流的方向。
3. 發電機的基本原理就是利用法拉第電磁感應定律。
4. 馬克士威用精確的數學語言歸納當時已知的電磁現象，統一了電磁理論：
 - (1)電荷會產生電場（即庫侖定律）。
 - (2)磁場的變化會產生電場（即法拉第感應定律）。
 - (3)單獨的磁極並不存在。
 - (4)電流會產生磁場（即安培定律），電場的

一、基本題

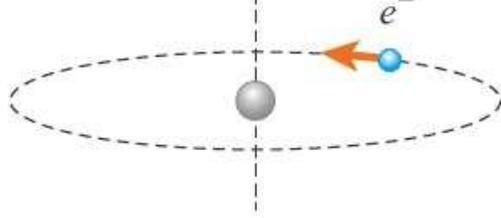
第一節

電流的磁效應

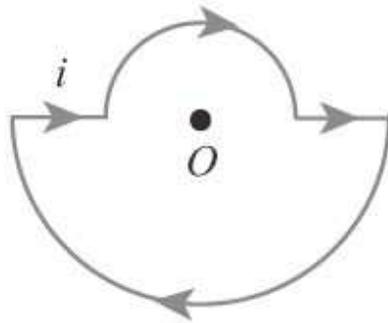
1. 在示範實驗二，載流長直導線的磁場中，若電流 I 方向由下向上（如圖），則位於直導線東、西、南、北側的小羅盤磁針 N 極將如何偏轉？



2. 假設地磁是由地球內部帶電流體隨地球自轉運動產生的電流所造成，則地球內部總電流的方向應為何？
3. 如圖為一個氫原子模型，一個電子正快速繞原子核運動，則該電子在原子核處所造成的磁場方向為何？



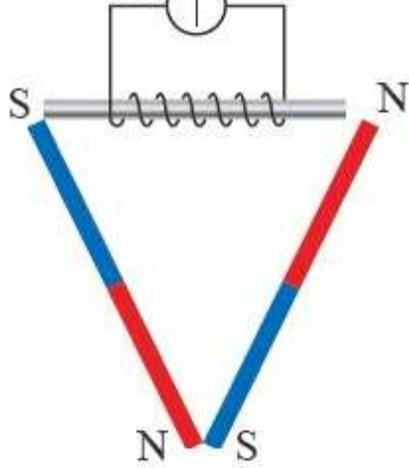
4. 如圖，兩同心半圓及直徑上的導線組成的線圈，通有電流 i ，則圓心 O 處的磁場方向為何？



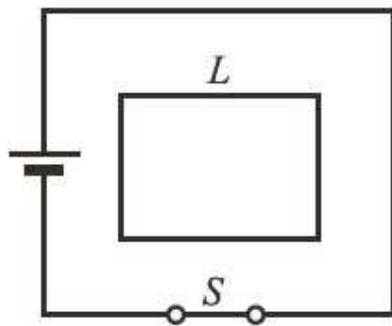
第二節

電磁感應

5. 如圖，在一支鐵棒上纏繞多匝絕緣導線形成線圈，導線的兩端連接到檢流計 G ，另外有兩支磁鐵棒，其下端的 N 極與 S 極相接觸，且左邊磁鐵棒的 S 極與鐵棒相接觸，右邊磁鐵棒的 N 極與鐵棒原先不接觸，問：



- (1) 當右邊磁鐵棒的 N 極與鐵棒接觸的瞬間，檢流計 G 電流的方向為何？
 - (2) 當右邊磁鐵棒的 N 極與鐵棒接觸後，檢流計 G 指示電流的大小為何？
 - (3) 當右邊磁鐵棒的 N 極與鐵棒移開的瞬間，檢流計 G 電流的方向為何？
6. 如圖為一平面上的電路，一方形直流電路將單刀開關 S 拉起瞬間，內部方形線圈 L 上產生的應電流方向為順時針或逆時針方向？



7. 路旁常看到電力公司 22 千伏特變壓器的箱子（如圖），若其輸出電壓為 220 伏特，且



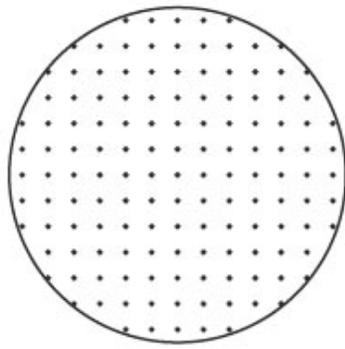
- (1) 主線圈與副線圈之匝數比為何？
 - (2) 若副線圈的電流為 160 安培，則主線圈的電流為何？（設兩線圈的電壓與電流乘積相等）
8. 市面上販賣很多 110 V 轉 220 V 或 220 V 轉 110 V 的電壓轉換器，若其內為線圈式轉換（非電子式），則其主線圈與副線圈之匝數比各為何？

二、進階題

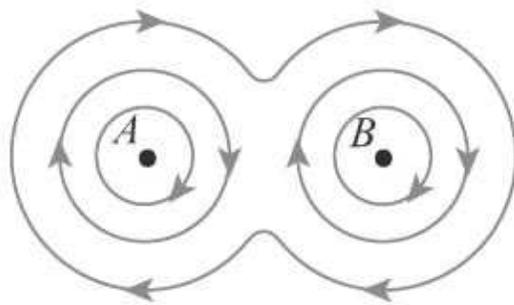
第一節

電流的磁效應

9. 一支螺線管垂直貫穿紙面，此時管內截面上的磁場如圖所示（黑點代表磁力線垂直離開



- (1) 當觀察者向紙面看去時，螺線管上的電流方向為順時針或逆時針？
 - (2) 螺線管靠近觀察者這一端為 N 極或 S 極？
 - (3) 要增加磁力線，電流應如何調整？
10. 兩平行載流長直導線 A 和 B 垂直貫穿紙面，其在紙面上的磁力線分布，如圖所示，由此圖可知 A 、 B 兩導線上的電流方向為何？



第二節

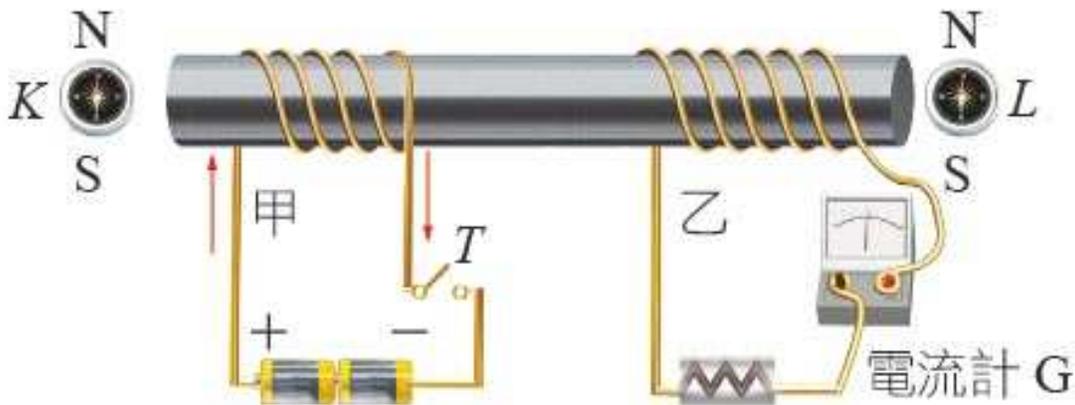
電磁感應

11. 有一電磁感應裝置如圖，甲、乙兩線圈分別

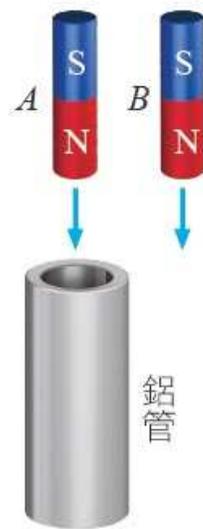
組，乙線圈連接於一電流計 G 。開始時，甲電路上的開關 T 是打開的，甲、乙兩電路上均無電流。

(1) 按下開關 T 將電路接通。當甲電路上的電流穩定後，若軟鐵棒的兩端因電流所產生的磁場遠大於地球磁場，則磁針 K 與 L 的 N 極會指向何方？

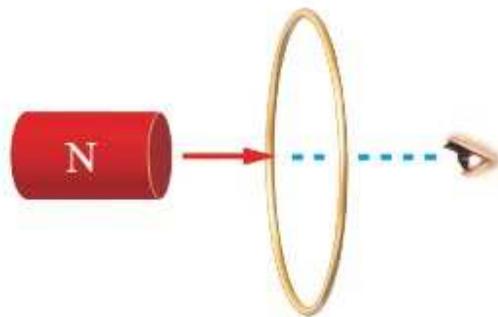
(2) 承第(1)題，甲電路的電流穩定後，將開關 T 打開使甲電路成為斷路瞬間，乙電路是否會有應電流通過電流計？方向為何？



12. 如圖，一個長度很長的空心金屬鋁管垂直於地面懸空放置。在鋁管的正上方，有一磁棒 A 對準鋁管的中央鉛直落下。另有一支磁棒 B 由相同高度在管外同時自由落下，請問哪



13. 1931 年英國物理學家狄拉克預言，宇宙中存在著單一磁極的磁單極子。科學家設計實驗如圖，來找尋磁單極子。假如真的有磁單極子存在，令一個 N 磁單極子快速通過線圈，則通過線圈前與通過線圈後線圈中的應電流方向，由右方的觀察者看來為順時針或逆時針方向？



14. 請問馬克士威在電磁學上的主要貢獻是什麼？（多選） (A)發現了靜電力定律 (B)他用數學語言方程式統合了電磁學定律

(C)提出電場的變化也會產生磁場 (D)導出電磁波在真空的速率等於光速 (E)發現了電磁感應定律。

15. 附圖是一個手持式金屬探測器，工程師常用它來探測路面下有無金屬管線，探測器下端的圓盤內有線圈，並連接到一交流電源，產生迅速變化的磁場。當路面下有金屬時，這磁場能在金屬物體內部產生應電流，而應電流又產生磁場，倒過來影響原來的磁場，引發探測器發出鳴聲。依據上述的敘述，金屬探測器基本上是應用哪兩種物理原理？（註：金屬探測器也應用於機場旅客進出時的安全檢查設備）



16. 在餐桌上方常見的電磁爐，其加熱食物的原理是電流熱效應與電磁感應。如圖所示為電磁爐內部的線圈，該線圈是由粗的絕緣導線環繞而成；在電磁爐的平台表面，以絕熱性質良好的陶瓷材料覆蓋，以避免加熱過程，人因誤觸面板造成燙傷的意外。當線圈通入交流電時，變化的磁場會在面板上方的鍋具上造成應電流，而使鍋內的食物熱起來。由以上敘述可知

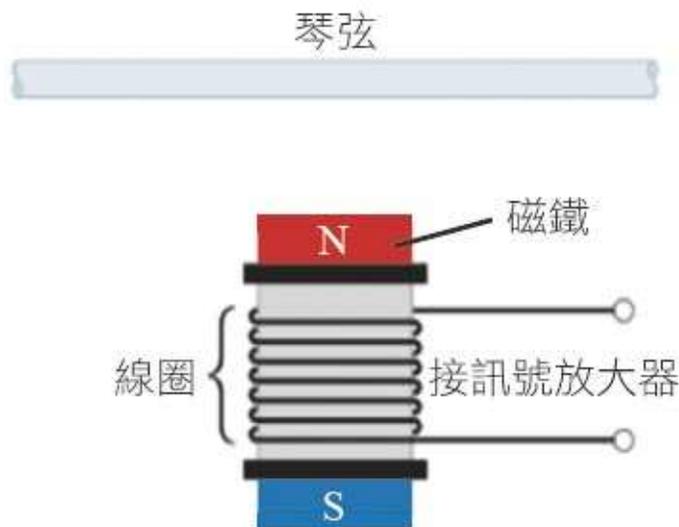


- (1)磁場能否穿過陶瓷材料嗎？
- (2)若以不導電的玻璃容器擺在電磁爐上，可以加熱食物嗎？

三、閱讀題

17.電吉他是搖滾音樂中不可缺少的樂器，其聲

電吉他的鎳製琴弦下方，有一個『拾音器』，如圖所示，這個裝置可以將琴弦振動轉換成電流訊號後，以放大器放大並利用擴音器輸出為聲波。根據該拾音器的構造圖，回答下列問題



- (1) 琴弦靠近磁鐵的一側會呈現 N 極或 S 極？
- (2) 琴弦振動為何會在線圈上產生應電流？
- (3) 將金屬弦振動轉變線圈電流所依據的原理是什麼？

解答

1. 東側：不偏轉、西側：向南或向北、南側：

2. 與地球自轉反向，或由東向西轉。
3. 向下。 4. 向紙內。
5. (1)由右向左；(2)0；(3)由左向右。
6. 順時針。 7. (1)100：1；(2)1.6 安培。
8. 1：2、2：1。
9. (1)逆時針；(2)N 極；(3)調大。
10. A 、 B 電流皆為進入紙面。
11. (1) K 、 L 之 N 極均向右；
(2)有，方向由上至下。
12. 磁棒 A 較久。 13. 皆為順時針方向。
14. (B)(C)(D)。 15. 電流磁效應與電磁感應。
16. (1)能；(2)不能。
17. (1)S 極；(2)具有磁性的金屬弦振動時，在
線圈上造成磁力線的變化，因此產生應電
流；(3)電磁感應