

Chapter 5 電與磁的統一

5-1 電流磁效應

一、電流磁效應：

1. 發展歷史：

(1) 1820年9月，丹麥科學家 Oersted (厄斯特) 發現①_____。

⇒ 內容：載有電流的電線（或移動的電荷）會產生磁場

(2) 同年10月，法國科學家 Biot (必歐) 和 Savart (沙伐) 建立計算一小段電流在空間中產生磁場的數學公式，稱之為「Biot-Savart 定律」

(3) 1826年，Ampere (安培) 提出載流導線與靜磁場之關係，稱為「安培定律」。

2. 發展意義：點燃電磁學研究火種，使其進入理論高度應用的新紀元。

二、安培定律（安培右手定則）：

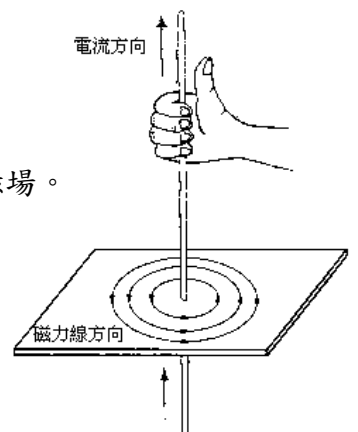
1. 安培右手定則：判斷載流導線建立的磁場與磁力線之關係。

2. 載流「長直」導線產生的磁場：

(1) 分布：以載流長直導線為中心軸，建立②_____磁場。

(2) 現象：靠近導線或增加電流，磁場越強。

(3) 方向：以右手大拇指為長直導線③_____，
彎曲四指為④_____。



我在想.....

搏君一笑

就讀某高中的男孩，半夜裏打電話給他女友談情說愛，很不幸被女孩的母親接到，問明來意後她很不悅地問到：「你姓啥？」
男孩說：「我姓魏」
對方又問：「魏什麼」
這時男方緊張的回答：
「我也不知道為什麼？我爸也姓魏」

①電流磁效應 ②圓環狀同心圓 ③電流方向 ④磁場方向

3. 載流「環形」線圈產生的磁場：

(1) 分布：

將環形線圈每一小段視為長直導線；

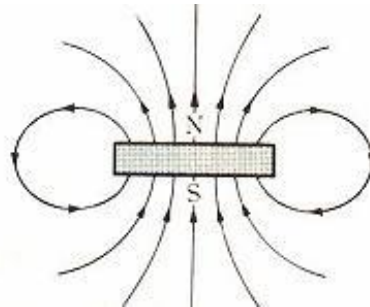
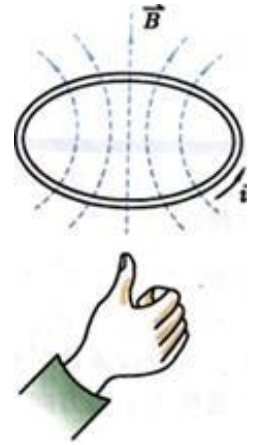
則環形線圈產生的磁場則是各小段產生之磁場向量的疊加。

(2) 現象：

中間區域磁場強度大於線圈外面區域；

增加電流或縮小半徑可增加磁場強度。

(3) 方向：以彎曲四指為為環形線圈電流的方向，大拇指為磁場方向。



4. 載流「螺線管」產生的磁場：

(1) 分布：視為許多環形線圈的磁場向量疊加，得到如圖之磁場分布。

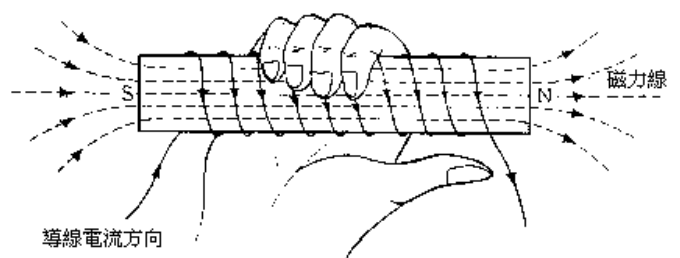
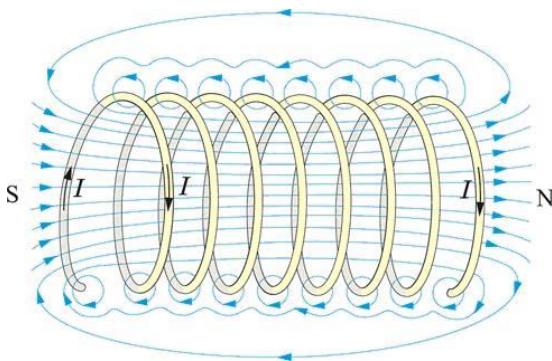
⇒ 內部①_____（處處相等）；外部②_____

(2) 現象：增加電流或提升單位長度的匝數，可增強磁場強度。

(3) 方向：以「彎曲四指」為為螺線管線圈電流的方向，「大拇指」為磁場方向。

(4) 在螺線管中加入③_____（鐵、鈷、鎳物質，或其合金），可以大幅增強產生的磁場，我們稱之為「電磁鐵」。

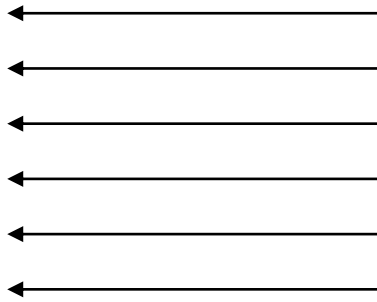
(5) 應用：電話聽筒、喇叭、起重機、電風扇……等等。



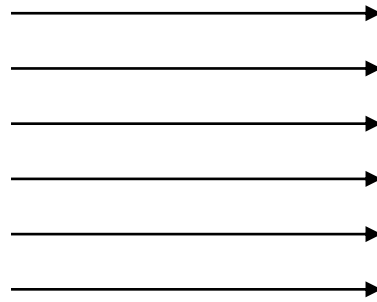
① 均勻分布 ② 趨近零 ③ 鐵磁性物質

三、方向的表示：

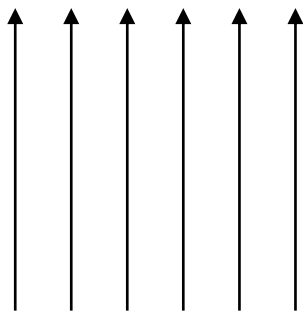
在接下來的電磁學中，會看到許多對於電流、電場或磁場方向的表示，以下列出表示方法：



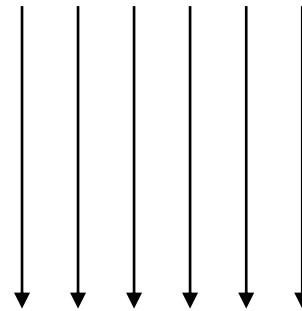
向左



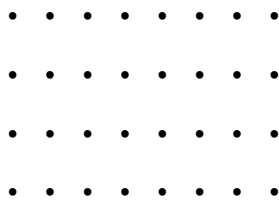
向右



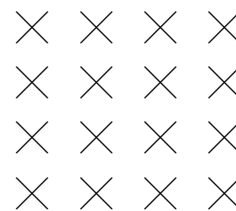
向上



向下



射出紙面

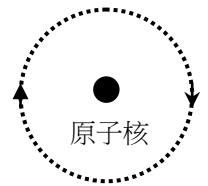


射入紙面

精選範例 01：【97 學測】

假設「電子」繞著原子核作圓周運動，如右圖所示。則下列有關此原子模型的敘述哪一項正確？

- (A) 圖中電子運動產生的電流為順時針方向
 (B) 原子核與電子帶同性電荷，提供電子運動所需之力
 (C) 圖中電子運動產生磁場的 N 極方向為射出紙面
 (D) 原子核與電子之間的作用力，類似於彈簧，相距愈遠，作用力愈強。



ANS：(C)

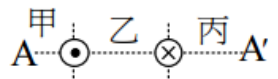
自我練習：

1. 南北向之導線正下方，放置一磁針，若由導線上方看到磁針一逆時針方向旋轉，即可推測導線中的電流方向為_____。

2. 兩條垂直於紙面的直導線，一條的電流流入紙面，另一條則流出紙面。

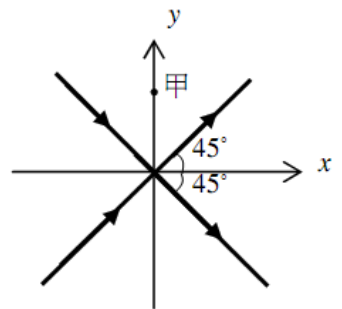
已知兩條導線上的電流等大，則下列在 AA' 線上的磁場

- (A) 甲區的磁場方向向上 (B) 乙區的磁場為零 (C) 丙區的磁場方向向上
 (D) 乙區的磁場方向向上 (E) 乙區的磁場方向向下。答：_____



3. 右圖為兩條固定在 xy 平面上的長直導線，均通過原點，且與 x 軸的夾角均為 45° ，兩導線上的直流電流，大小相同，方向如箭號所示。假設位於 y 軸上的甲點到兩導線的垂直距離遠小於兩導線的長度，則下列關於該點上磁場方向與量值的敘述，何者正確？【100 學測】

- (A) 磁場量值為零 (B) 磁場方向向 $+y$ (C) 磁場方向向 $-y$
 (D) 磁場方向垂直穿入紙面 (E) 磁場方向垂直穿出紙面



答：_____

4. 螺線管通以穩定電流，在管內距中心軸為 r 與 $2r$ 處，其磁場強度大小比為

- (A) 1:2 (B) 2:1 (C) 1:4 (D) 4:1 (E) 1:1 答：_____

5. 電磁鐵的最主要工作原理是利用哪一個原理？ (A) 電流的熱效應 (B) 電流的磁效應 (C) 電流的化學效應 (D) 電磁感應 (E) 靜電感應 答：_____

6. 電磁鐵的磁極方向（磁場方向）是由 (A) 電流方向而定 (B) 電流強度而定 (C) 導線的粗細而定 (D) 鐵心的粗細而定 (E) 鐵心的材料種類而定。 答：_____

參考答案：1. 由南到北 2. D 3. E 4. E 5. B 6. A

5-2 電磁感應

一、電磁感應(Electromagnetic induction)：

1. 發展歷史：

(1) 1831 年，Faraday (法拉第) 發現，當封閉線圈內的磁場改變時，線圈會產生電流。
 ⇨ 故「電磁感應」又稱為，①_____。

(2) 1834 年，Lenz (冷次) 提出應電流方向之判斷方法，此方法稱為②_____。

2. 物理意義：因為封閉線圈內磁場的改變，造成線圈電流的產生，此現象稱為③_____。

產生的電流稱為④_____ (Induced current)

⇨ 「磁動生電」，磁場變動造成電流產生。

↳ 「電動生磁」：電流磁效應，正電荷移動（電流）造成磁場的產生。

二、應電流(Induced current)：

1. 成因：應電流所產生的磁場，⑤_____原線圈的磁場變化。即，欲恢復原來磁場之狀態。

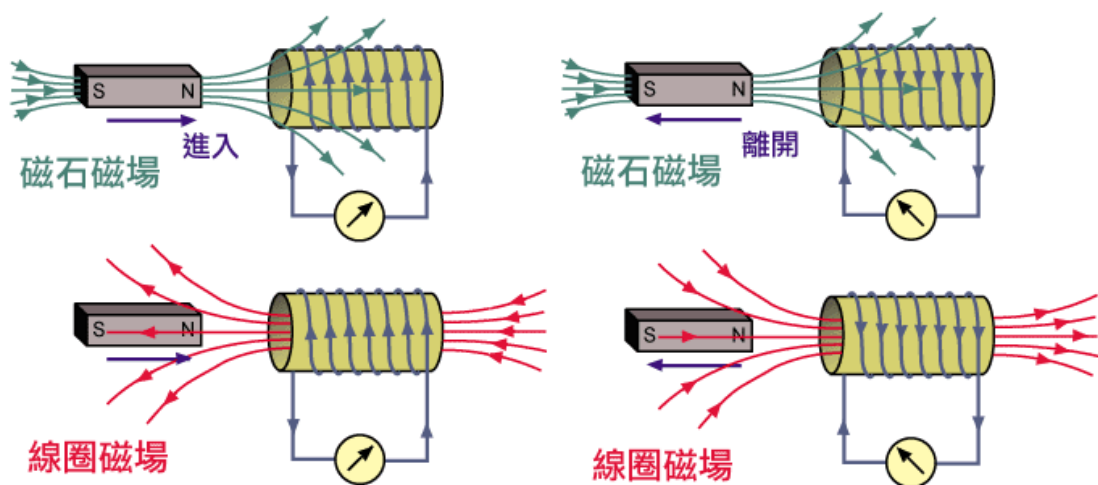
2. 應電流方向之判斷方法：冷次定律

(1) 應電流所產生之磁場，在「抵抗」線圈的磁場變化的方向上。

即，應電流所產生之磁場，欲維持線圈內原來（變化前）的磁場狀態。

⇨ 應電流的產生可以視為_____的驅動

(2) 實例說明：



PS：這種情況不就是傲嬌嘛！當別人靠近時說不要，要遠離時卻又纏著人家～

① 法拉第感應定律 ② 冷次定律 ③ 電磁感應 ④ 應電流 ⑤ 抵抗 ⑥ 感應電動勢

3. 影響應電流大小之因素：

(1) 線圈纏繞的匝數：① _____ 可以使應電流增大。

(2) 線圈內磁場變化的快慢（磁力線數目的② _____）：

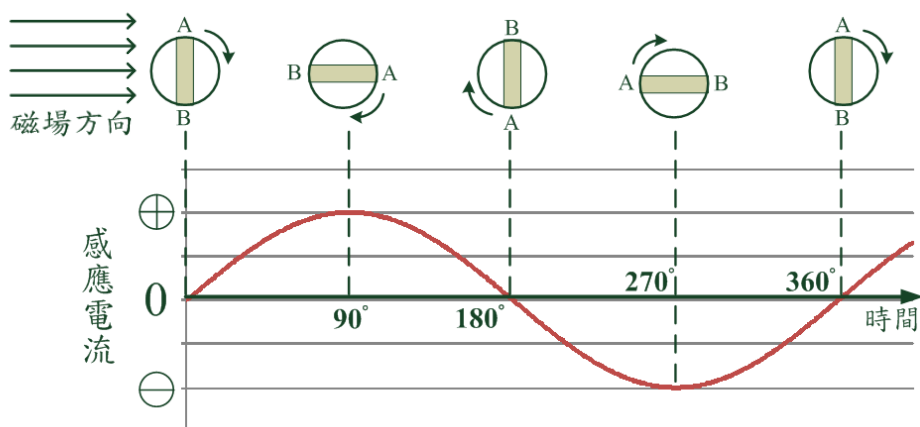
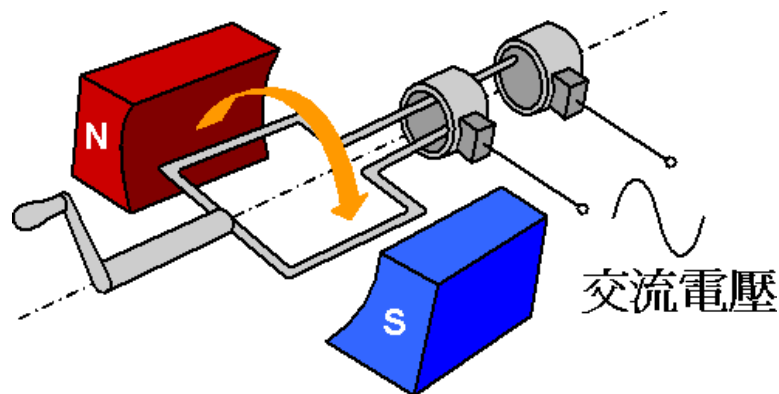
欲使變化率提高可以加速磁鐵棒穿線圈方向移動或使用較強的磁鐵棒，
應電流則會增大。

三、電磁感應之應用：

1. 發電機：

若使一個有封閉迴路的線圈，在磁鐵的兩磁極間轉動時，則穿過線圈內的磁力線數目，將隨線圈所在位置的不同而改變，亦即隨時間而變，則線圈的導線上將產生感應電流，這就是發電機的原理。

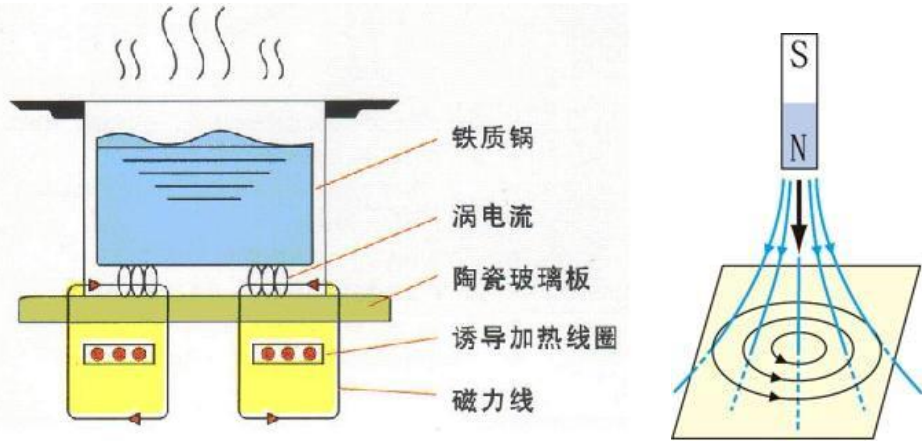
發電機的構造，就是利用使磁鐵在線圈與線圈間迴轉，周圍的線圈便能發電的原理。利用動力，例如水力、風力、蒸汽的推力等，使線圈在磁場中快速轉動，線圈內便會有感應電流產生。發電機是一種可將③ _____（或稱力學能）轉變為電能的機械。



① 增加線圈數 ② 變化率 ③ 機械能

2. 電磁爐：

電磁爐是利用交流電通過線圈產生磁場，如此產生的磁場會隨時間改變，而通過鍋具底部的磁力線也會隨時間而改變。根據電磁感應，通過鍋具底部的電力線改變，會造成應電流的產生。應電流通過鍋具會使底部產生熱量。在這樣情況產生的應電流為同心圓之形狀，故又稱為「渦電流」(Eddy Current)，此「渦電流」能使鍋具本身產生熱量。



3. 變壓器：

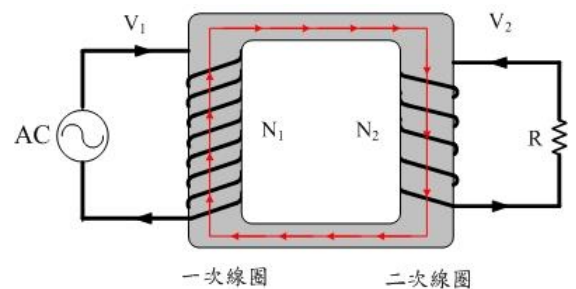
變壓器利用電能與磁能轉換感應的原理，將兩組線圈繞製在共同的「鐵心(core)」上，連接電源端（輸入電壓）的稱為「一次線圈」或「主線圈(primary coil)」，連接負載端（輸出電壓）的稱為「二次線圈」或「副線圈(secondary coil)」。主線圈通入交流電之後，會產生磁場並隨交流電變化，磁力線隨著鐵心通過副線圈，由於副線圈內的磁力線數目也隨著時間變化，進而使副線圈產生感應電動勢與應電流。

根據法拉第電磁感應定律，可以得到下列公式：

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

更理想的情況下，能量完全無耗損，則輸入功率等於輸出功率（ $P = IV$ ），可得到：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$



我在想.....

搏君一笑

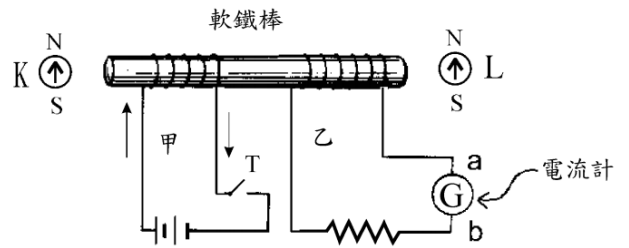
某直腸外科醫生來到一家餐廳吃飯，正要点菜，發現服務生總是下意識地摸屁股，便關切地問道：「有痔瘡嗎？」

服務生指了指菜單說：

「請您點菜單裡有的菜好嗎？」

精選範例 01：【88 學測】

有一電磁感應裝置如圖所示。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



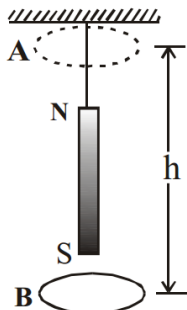
- (1) 按下開關 T，將電路接通。當甲電路上的電流穩定後，若在軟鐵棒的兩端，電流產生的磁場遠大於地球磁場，則磁針 K 與 L 的 N 極會指向何方？
 (A) K 向左，L 向左 (B) K 向右，L 向右 (C) K 向左，L 向右
 (D) K 向右，L 向左 (E) K 向上，L 向上
- (2) 承上題，在甲電路中的電流穩定後，將開關 T 打開使甲電路成為斷路，則乙電路會出現下列那一情形？
 (A) 電流一直維持為零 (B) 一直有穩定的電流，方向由 a 到 b
 (C) 一直有穩定的電流，方向由 b 到 a (D) 出現瞬間電流，方向由 a 到 b
 (E) 出現瞬間電流，方向由 b 到 a

ANS：(B)、(D)

精選範例 02：

如圖所示，一個銅質圓環，自位置 A 放下落到位置 B，下落高度為 h，且套經一支鉛直懸掛的磁鐵棒，不計空氣阻力，所需的時間為：

- (A) 等於 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ (B) 大於 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ (C) 小於 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$
 (D) 無法確定



ANS：(C)

精選範例 03：

要將 110 伏特升壓成 22000 伏特需要一個變壓器，若原線圈 500 匝，輸入電流 2 安培，則：

- (1) 副線圈匝數為 _____ 匝
 (2) 輸出電流 _____ 安培
 (3) 輸入功率 _____ W

ANS：(1) 100000
 (2) 0.01 A
 (3) 220 W

5-3 電與磁的統一

一、電與磁

1. 電與磁為一體兩面：

- (1) 電動生磁：電流磁效應（安培定律）
- (2) 磁動生電：電磁感應（法拉第定律）

2. 描述電磁現象的四個定律：

- (1) 靜電的庫倫定律
- (2) 靜磁的磁力作用 ⇨ 目前沒有發現磁單極的存在。
- (3) 電動生磁的安培定律
- (4) 磁動生電的法拉第定律

二、Maxwell's Equations：

1. 1864 年，Maxwell（馬克士威）利用數學統一並拓展電磁學中的四個定律，並得到 Maxwell's Equations（馬克士威方程式）。

2. 【補充】馬克士威的四個方程式：

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \Rightarrow \text{靜電的庫倫定律}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \Rightarrow \text{磁力線為封閉線}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \Rightarrow \text{磁動生電的法拉第定律} \quad \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \Rightarrow \text{電動生磁的安培定律}$$

三、電磁波：

1. Maxwell 預測：

- (1) 在真空之中，電場與磁場會交互變化（電場變化產生磁場，磁場變化產生電場），並以波動的形式向外傳播。此傳播的波動稱為「電磁波」(Electromagnetic wave)
- (2) 從理論中推得，電磁波在真空中傳遞的速度與光速（Fizeau 菲左，在 1849 年測得光速為 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）相等，因此認為光為電磁波的一種。

2. 1887 年，Hertz 從火花實驗中發現電磁波的存在，並證實光是電磁波的一種。

3. 由帶電粒子被加速所產生，電場、磁場與前進方向如圖所示，皆互相垂直。

