

5 衣著

- 5.1 銀織材料能抑制微生物滋生由 NASA 寶瓶宮實驗是研發成功

6 能源

- 6.1 光合作用的啓示
6.2 太陽能的充分應用
6.3 太陽能電池背包
6.4 建材融入

7 旅遊

- 7.1 太空之旅
7.2 旅遊小幫手

8 機器人

- 8.1 融入生活中
8.2 無人型設計
8.3 人工染色體

9 教學

- 9.1 資料機（電子書包）
9.2 多功能電子白板

10 生物科技

- 10.1 愛滋病防護
10.2 人體器官再生技術
10.3 植入式醫療系統
10.4 原子大小的晶體管—癌症控制
10.5 人造聚合薄膜—取代燒傷的皮膚
10.6 人體視網膜—人造眼
10.7 阿爾茨海默氏病因的發現與治療
10.8 人體老化的抑制

11 電腦

- 11.1 移動式電腦主機（PDA）
11.2 手寫式

11.3 光學記憶器

- 11.4 微晶片上的磁場可以產生微小而同調的原子雲（玻色—愛因斯坦凝聚體 BEC）、量子電腦

11.5 OLED 的顯示器

12 晶片應用

- 12.1 信用卡機制
12.2 刷卡機制
12.3 鑰匙的功能
12.4 奈米碳管製成的記憶體



磁學概念教學的困境與突破

陳瓊森

國立彰化師範大學 物理學系

壹、最難教與最難學的科學概念

遠在科學概念研究的早期，研究者即發現，不管是從教師教學或學生學習的角度來看，物理中的電學概念，例如電壓和電流，以及化學中的原子、分子、莫耳概念，都是最難教與最難學的科學概念(Shipstone, 1985;

Shipstone, et al., 1988)，因為這些都是非常抽象、微觀的概念，教師無法以示範實例的方式，具體地呈現給學生來直接觀察與感受。解決之道，惟有借助於類比與模型，才能有效幫助學生體會這些極度抽象的概念。由於早有這樣的體會，而且為了確實改進物理與化學的教學困難，因此作者在過去二十年來有關科學概念的教學研究中，對這兩個部份著力最多，因而成果也最豐碩。

如果學生對電流、電壓、電阻、電功率等電學概念已經真正有所體會，則在接下來有關磁學，乃至後續的電磁感應，以及更進階的電磁學，其教學與學習就不會覺得有那麼大的困難，其原因之一，乃是因為磁場的主要來源就是電流。雖然相對電學來說，磁學不算那麼困難，但比起力學和光學，磁學還是比較抽象而難體會的(Guisasola, et al., 2004)，而且因為一些教學實務上的盲點，使得磁學的教學與學習更顯得不容易。

本篇短文的目的，即在簡略介紹作者在磁學教學上所發現的困難，以及發展出解決這些困難的方法，以供物理教師們參考。

貳、磁學概念教學的困境

在學生學習磁學初期，教師可以指示學生先均勻地將鐵粉灑在透明壓克力平面上，然後將磁鐵或載有電流之導線移到平面相關位置上，再輕敲平面使得鐵粉震動，就可以讓學生「好像」看到磁場或磁力線。例如載有電流之長直導線周圍的磁力線，乃是很多個以導線為中心的同心圓，學生可以親自觀察、進而體會，磁力線(也就是鐵粉)的方向，代表磁場的方向，而磁力線的疏密程度，則代表磁場的大小。

在進行載有電流之長直導線周圍磁場的

實驗教學時，我們用鐵粉幫助學生體會導線周圍磁場之後，會將指南針放在載有電流之長直導線周圍，卻經常會感覺到，指南針好像沒有在圓的切線上啊！如果將數個指南針放在通電長直導線四周，就會發現這些指南針的指向好像沒有形成一個圓，似乎比較像橢圓。我們就會覺得很奇怪，為什麼載有電流之長直導線周圍的磁力線(或鐵粉)會是很漂亮的圓呢？

我們可以利用載流長直導線周圍磁場的公式 $B = \mu_0 i / r$ 來做粗略的計算：假設電流 $i = 5$ 安培 (這對中學實驗室來說已經是不小的電流)，則在距離長直導線不遠處，例如在距離導線 5 公分的地方，其磁場 $B = 4\pi \times 10^{-7} \times 5 / (5 \times 10^{-2}) = 1.256$ 高斯，這比起地球磁場的大約 0.5 高斯，並不算大很多。這也就是說，即使在很靠近帶有大電流之長直導線的地方，我們所測量到的磁場，應該都會顯著地包括地球磁場的效應。那為什麼載有電流之長直導線周圍的磁力線(或鐵粉)會是很漂亮的圓呢？好像鐵粉根本沒有受到地球磁場的影響，否則怎麼能夠呈現理論值的漂亮圓形呢？

參、磁力線圖只是虛幻的假象嗎？

這個問題困擾著我們很久，直到有一次實驗我們突然發現，把四個指南針放在長直導線四周，未通電前指南針都指向南方(或者依習慣反過來說指向北方)，通電後指南針的指向圍起來好像一個圓。但將電源切掉後，指南針竟然沒有回復原來的指向南方，而是其指向還是維持原來的圍起來像一個圓。這時我們才恍然大悟，指南針本身是強磁鐵，在導線電流幫助指南針使其指向形成一個圓之後，即使電源切掉，這些強磁鐵之間同極相斥、異極相吸的作用力，使得這些指南針

的指向還是形成(漂亮的)圓形。

這個發現不只讓我們深思，難道在物理教科書和實驗室裡所看到的磁力線圖，都只是虛幻的假象嗎？我們還更進一步思考，要如何克服磁場概念抽象難以理解的教學困難。為了深化合作學習教學系統內的活動設計，我們發展出有效科學概念教學模式，再結合上述磁學實驗的發現，促使我們體會到：要有效地幫助學生體會(各種形式的)磁場概念，就要好好利用學生還能具體感受的地磁與磁鐵之間的磁力，來學習各種磁場的方向與大小。以下即簡略呈現有關磁場教學的建議。

肆、磁鐵的教學

磁的發現遠在電之前，學生對磁鐵和指南針的接觸，也是從小就開始。這些很早就被接觸到的磁鐵相吸或排斥的磁力作用，以及指南針可以指引方向的作用，比起靜電與動電的電交互作用力，顯得容易體會多了。

但是我們也不要以為學生對方向很有體會，例如在教室裡問學生北方在哪一個方向，就會發現許多學生不能夠正確指出北方，因為許多人乃是以比較大的架構，例如遠處的山在東方當做參考座標，但在許多地方，附近的山並不一定在東方，因此很容易誤判方向。進了教室的封閉空間，可能更難判定方向。教師可以運用多數學生會誤判方向，凸顯指南針和磁鐵的重要，以及讓學生利用迴紋針來製作簡易的指南針，來幫助學生對磁鐵的功能有更深刻的體會。至於其它部份有關磁鐵的教學，則不在此贅述。

伍、長直導線周圍磁場的教學

讓學生接觸過磁鐵的作用之後，後續將

是磁鐵周圍磁場概念的教學。由於這個教學建議的初次描繪，確實會讓人感到有些複雜，因此暫且跳過去，先描繪長直導線周圍磁場的教學。

學生利用鐵粉觀察到載有電流之長直導線周圍漂亮的同心圓磁力線(鐵粉)之後，要學生將指南針放在載有電流之長直導線周圍，再觀察指南針是否指向同心圓的切線上。細心的學生即可發現，在有些地方，其答案為「是」，在有些地方則「否」。再要求學生明確指出來，到底哪些地方的答案為「是」？就可以引導學生發現，只有當指南針指向北方或南方附近時，才會指向同心圓的切線上。在其它地方就會偏離圓的切線。

此時要學生把指南針放在會偏離圓切線的地方，然後思考與討論，要如何使得指南針受到導線電流磁場的影響與受到地球磁場的影響，不會彼此互相干擾？上述的提示，或者可以引導學生想出或理解以下的解決之道。

要學生把指南針放在載有電流之長直導線周圍不遠處，用筆在緊貼著指針的 N、S 兩端處做記號。把指南針移開，用直尺在兩個記號間畫直線線段，這就代表此處磁場的方向。接下來把指南針的中心放在剛才所繪線段的一個端點，重覆上述畫磁力線的動作：在指針的 N、S 兩端處做記號，移開指南針，用直尺在新的兩個記號間畫直線線段。如此連續重覆進行，就可以得到載有電流之長直導線周圍的一條磁力線：長軸指向東北與西南的一個橢圓，因為沒有扣掉地球磁場造成的影響。

陸、繪製排除地球磁場影響之磁力線

把指南針放在載有電流之長直導線周圍不遠處，觀察指針的方向，把電源切掉，如果磁針的指向沒有變動，就表示電流在該處所造成的磁場，與地球磁場同方向，那就進行上述的畫磁力線的動作。如果電源切掉會使得磁針的指向產生變動，就代表電流在該處產生的磁場方向與該處的地球磁場的方向不同，這就需要尋求排除地球磁場影響的方法：把整個裝置小心旋轉，直到轉到磁針受電流磁場之影響不會受到地球磁場干擾的角度，也就是把電源切掉不會使得磁針的指向產生變動，這樣就可以進行畫磁力線的動作。如此連續重覆進行，就可以得到載有電流之長直導線周圍的一條磁力線：一個以長直導線為中心的(漂亮的)圓形，這是已經扣掉地球磁場造成的影響，單純只是長直導線電流所造成的磁場。

柒、測量磁場的大小

把指南針放在載有電流之長直導線周圍不遠之某處，引導學生討論如何利用地球磁場測量出該處磁場的大小，然後開始測量：旋轉整個裝置跟著旋轉，但沒有改變導線與指南針的相對位置，直到轉到磁針受磁鐵磁場之影響不會受到地球磁場干擾的角度，也就是把電源切掉並不會使得磁針的指向產生變動，標記方向(此時磁針指向北方)。然後再旋轉整個裝置 90° ，這樣如果切掉電源，指南針會指向東方或西方，再接上電源，指南針的磁針會偏轉一個角度，測量這個偏轉角度，再對照三角函數表的 \tan 欄，就可以得到磁鐵在該處所造成的磁場，乃是地球磁場的幾倍或幾分之幾。

運用同樣的方法，於載有電流之長直導線周圍數個不同位置測量磁場的大小，探討

磁場與距離導線的關係，最後要學生用同樣的方法，在詳細磁鐵磁力線圖上的數個不同的地方測量磁鐵磁場的大小，標記測量位置並記錄該處磁場的大小。

捌、磁鐵周圍磁場的教學

回來談磁鐵周圍磁場的教學。讓學生利用鐵粉觀察磁鐵周圍漂亮的磁力線(鐵粉)圖形之後，指示學生取一張 B4 或更大的紙張，將一根棒狀磁鐵放在紙張的中心，用筆在磁鐵周圍畫出磁鐵圖形，以標示磁鐵的位置，移走磁鐵，在圖上標示出 N、S 兩極。

把磁鐵放在圖形上，取一指南針放在磁鐵周圍的任何一個地方，進行上述之畫磁力線的動作：在指針的 N、S 兩端處做記號，移開指南針，用直尺在新的兩個記號間畫直線。如此連續重覆進行，就可以得到磁鐵周圍的一條磁力線：與用鐵粉觀察到的磁力線不同，不是一個接近橢圓的對稱圖形，而是向 N 或 S 某一極偏斜的圖形，因為沒有扣掉地球磁場造成的影響。

在上課時間許可的狀況下，要學生再利用同樣的方法，畫數條磁力線。

引導學生討論如何繪出扣掉地球磁場影響的磁力線圖，然後開始繪圖：把指南針放在磁鐵周圍的任何一個地方，觀察指針的方向，把磁鐵從紙張上的磁鐵圖形位置移走，如果磁針的指向沒有變動，就表示磁鐵在該處所造成的磁場，與地球磁場同方向，那就進行上述的畫磁力線的動作。如果把磁鐵移走會使得磁針的指向產生變動，就代表磁鐵在該處產生的磁場方向與該處地球磁場的方向不同，這就需要尋求排除地球磁場影響的方法：旋轉紙張使整個裝置跟著旋轉，但沒有改變磁鐵與指南針的相對位置，直到轉到磁針受磁鐵磁場之影響不會受到地球磁場干

擾的角度，也就是把磁鐵移走不會使得磁針的指向產生變動，這樣就可以進行畫磁力線的動作。如此連續重覆進行，就可以得到與用鐵粉觀察到的同樣漂亮的磁力線圖：一個接近橢圓的對稱圖形，這是已經扣掉地球磁場造成的影響，單純只是磁鐵所造成的磁場。

同樣在時間許可的狀況下，要學生再利用同樣的方法畫數條磁力線，就是用手工繪製粗略的磁鐵周圍磁力線圖。然後教師發給學生一張大張、用電腦繪製、詳細的磁鐵周圍磁力線圖，引導學生討論：如何利用地球磁場測量出磁鐵周圍某處磁場的大小？然後開始測量：把磁鐵放在詳細磁鐵磁力線圖上的磁鐵位置，把指南針放在磁鐵周圍的某處，旋轉紙張使整個裝置跟著旋轉，但沒有改變磁鐵與指南針的相對位置，直到轉到磁針受磁鐵磁場之影響不會受到地球磁場干擾的角度，也就是把磁鐵移走不會使得磁針的指向產生變動，標記方向後再旋轉 90° ，這樣如果移走磁鐵，指南針會指向北方，再把磁鐵放回圖形上的磁鐵位置，指南針的磁針會偏轉一個角度，測量這個偏轉角度，再對照三角函數表的 \tan 欄，就可以得到磁鐵在該處所造成的磁場，乃是地球磁場的幾倍或幾分之幾。

如果教學對象是國中生，就不要出現三角函數、 $\tan\theta$ 等字眼，只要讓學生體會，與地球磁場垂直的電流磁場越大，就會使磁針偏轉的角度越大。教師只要提供每隔 5° 的比值簡表即可，以免徒增學生的負擔。

要學生用同樣的方法，在詳細磁鐵磁力線圖上的數個不同的地方測量磁鐵磁場的大小，標記測量位置並記錄該處磁場的大小，然後討論磁場大小與磁力線的疏密程度有何關係。

玖、磁鐵強度的測量

學會測量磁場大小的方法，就可以練習測量磁鐵強度：把指南針放在棒形磁鐵長軸上最靠近 N 或 S 極的端點，運用上述的方法，測量磁場是地球磁場的幾倍大。換數個不同的磁鐵，分別測量其強度，並感受這些不同強度的磁鐵相吸或相斥的作用力大小，這會使得學生對磁鐵更有感覺，也幫助學生對磁場有更深入的體會。

以上所描繪的磁鐵周圍磁場概念的教學，的確會讓人覺得有些複雜。學生第一次接觸到這種磁場測量的方式，也會覺得不是很容易，但真正實做過一次之後，對磁場就會有相當多的體會。之後學到長直導線周圍磁場，用相同方法再做一次，就覺得容易多了，在接下來超過一整個月的磁學單元，也會覺得輕鬆易學多了。整體磁學的教學進度，當然也不成問題，而教學成效則好多了。因此，不管對象是國中、高中、或大學生，這種充分運用地磁的磁學教學，都是報酬率很高的有效概念教學。

拾、地球磁場的教學

運用上述方法教完長直導線周圍磁場的教學，接下來當然就是教導學生學習測量正方形、圓形、線圈導線之電流所形成的磁場。由於學生已經接近精熟如何運用地球磁場來測量電流磁場的方向與大小，學習的速度可以加快，也就可以考慮讓學生接觸高斯等磁場的單位。

Stewart (2000) 曾經介紹地球磁場的測量實驗，這在其 26 個電學與磁學活動中，受大學生歡迎程度排名第 3：發給學生的實驗器材包括漆包線、指南針、電池、安培計、可變電阻、與紙版。學生用漆包線纏繞紙版做成線圈，把指南針放在線圈裡，連接電池、安培計、可變電阻、與線圈，形成迴路。關

掉電源，旋轉整個裝置，使得線圈與地球磁場(磁針)垂直。再連接電源，調整可變電阻，使得磁針剛好旋轉轉 45° ，記錄電流大小，利用線圈磁場公式，就可以計算出當地地球磁場水平分量是多少高斯。

這樣典型的磁場實驗，為什麼會受到大學生的熱烈喜愛？Stewart 教授認為，因為讓學生親自動手操作，透過地磁，讓他們對磁場有比較具體的感受與比較深的體會。

之前我們要學生測量的磁場大小，都是以地磁之倍數來呈現，現在就可以轉換成以高斯為單位，可以正式呈現磁場的測量值了。

拾壹、結語

磁學概念的教學與學習，雖然不像電壓等電學概念與分子概念那麼極端困難，但也屬於抽象難懂的概念。典型運用鐵粉來呈現磁力線的作法雖然不可或缺，但由於鐵粉受到磁鐵或電流磁場的磁化作用，可能變成像指南針的磁針一樣的強磁鐵，他們彼此之間複雜的交互作用，使得鐵粉好像可能根本沒有受到地球磁場的影響，形成符合理論值的漂亮磁力線圖，但其實對於理解磁場概念，並沒有非常大的幫助。

由於磁鐵之間的作用力和地磁，對學生來說不算非常困難理解，使得我們可以設計一個充份運用地球磁場的有效概念教學方案，來幫助學生繪製真正的磁力線圖，反而能真正幫助學生體會磁鐵和電流造成的磁場。雖然在運用這個磁學教學方案的初期，會讓教師和學生都覺得有些複雜而顯得困難，但動手實作一次後，對磁場就會有相當多的體會，進而逐漸進入順性循環，在接下來的磁學單元，乃至電磁感應，都會覺得輕鬆易學多了。

參考文獻

1. Guisasola, J., et al. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of university. *Science Education*. 88, 443-464.
2. Shipstone, D. (1985). Electricity in simple circuits. In Driver, R. (ed.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
3. Shipstone, D. et al. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*. 10, 303-316.
4. Stewart, G.B. (2000). Measuring earth magnetic field simply. *The Physics Teacher*. 38, 113-114.

吸飲現象 概念改變探究活動示例

顧炳宏

國立彰化師範大學 科學教育研究所

壹、前言

針對大氣壓力概念之教學，已存在許多表現大氣壓力效果的實驗和活動(Gardner,