

普通物理期末報告

由電磁學基本觀念
探討磁滯現象及其應用

搭配章節：

Ch28 Magnetic field

普物實驗：hysteresis

Ch31 Alternating currents

Ch33 Electromagnetic waves

Ch28 Magnetic dipole moment

教授：趙治宇

系級：機械一

姓名：程鏡丞

學號：B08502097

一、前言

在這學期的普物實驗中，不知為何屬於磁學領域的實驗少之又少。但在進行磁滯曲線的實驗時，我便強烈的感覺到磁學既不像電路學光用看的就覺得錯綜複雜非常嚇人、也不如光學難以控制精確程度、更不如近代物理一般如同玄學很難參透...於是便有了以磁滯曲線作為期末報告主題的發想。當然，這並不是很容易，特別是磁學中許多概念只能用想像的這點，使我在思考磁滯現象可能的應用時，著實困擾了許久。希望由我自己天馬行空想像出來的可能發展及延伸應用能讓教授及助教感受到我的用心！

二、磁場

有些物質具備吸引鐵、鈷、鎳及其合金之性質，稱為磁性。考慮一具備磁性的物體，在其上顯現磁性特別強烈的部位稱為磁極(俗稱 N 極、S 極)，且磁極無法單獨存在(意即不可能有磁性物質只顯現出 N 極或 S 極其中一方的特性，具體特性於下段詳述)，也與電荷同樣具備同極相斥、異極相吸的現象。

運動電荷間的交互作用會產生磁力，而磁力所及的空間稱為「磁場」。設空間中某一點之磁場向量為 \vec{B} ，再使一帶電量 q 之電荷以 \vec{v} 之速度通過該點，則由實驗發現此電荷所受磁力滿足下式：

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

由上式可推知磁場大小為 $B = \frac{F_B}{qv \sin \varphi}$ ，其中的 φ 為 \vec{v} 與 \vec{B} 的夾角。

因磁極無法單獨存在，故無法用和電場或重力場一樣的方式來定義磁場。為了方便理解，我們仿照電力線的模式，將磁場中各點之磁場方向連成一平滑曲線，稱為磁力線。在第一段中提及之 N 極、S 極的特性即顯現在磁力線上。在磁鐵外部的磁力線起於 N 極，止於 S 極，而在磁鐵內部的磁力線又會從 S 極繞回 N 極，形成一封閉曲線。而第二段中尚未提及之磁場方向，亦會平行於磁力線的切線方向。故可得知磁力線不可相交，而且磁場的強度會直接反映在磁力線的密集程度上。

三、磁偶極矩(磁矩)

在探討帶電質點在磁場中的運動情形時，我們不妨從載流導線在磁場中的受力情形開始切入正題。現有一長 L 、截面積 A 的導線，通以電流 I 並置於磁場 B 中，則該導線所受磁力如下式：

$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$

此處暫不考慮磁力的大小因素，就磁力方向而言，我們可以藉由右手定則(大拇指指向電流方向，且四指指向磁場方向，此時掌心的方向即為磁力方向)決定之。根據上述，若考慮一封閉載流環，磁力必將全數抵銷，亦即所受合力必為 0。但由於合力矩未必為 0，因此再定義磁偶極矩 $\vec{\mu} = I\vec{A}$ ，若導線繞了 N 圈，則 $\vec{\mu}_N = NI\vec{A}$ ，而合力矩為 $\vec{\tau} = \vec{\mu}_N \times \vec{B}$

四、交流電與電磁波

交流電(Alternating currents, AC)是指電流強度和電流方向都發生週期性變化的電流，在一個週期內的運行平均值為零。簡言之便是具備與直流電幾乎完全相反的特性。常見波形為正弦曲線，但實際上還有其他延伸應用的波形，例如三角形波或正方形波等。人們在日常生活中使用的便是具有正弦波形的交流電。

英國科學家馬克士威是對電磁學及光學的統一做出極大貢獻的科學家。他提出的馬克士威方程組，加上勞倫茲力方程式以及電荷守恆定律，便能描述一切的電磁現象及元件運作原理。上述幾個重要的方程式以及其物理意義列舉如表(一) (註：馬克士威方程組有許多形式，表(一)僅列出最常見的積分形式)。

而電磁波的性質便可藉由馬克士威方程組推導而得。由馬克士威方程組中的後兩式可導得在真空中，電場與磁場分別滿足其波動方程式，且兩者間必定互相垂直，如圖(一)所示。統合兩者的方程式後，再與一般波動方程式比較可得

電磁波波速為 $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ ，正是我們所熟悉的光速。因此馬克士威

不但提出了整合性的方程組，更大膽預言當初還未發現的電磁波的存在，以及認為光就是一種電磁波。如我們所知，這些預言在他過世以後一一的被證實，這也就是馬克士威之所以能與牛頓、愛因斯坦等科學巨擘齊名的原因！

五、磁介質、磁化率與磁滯現象

有些物質在磁場作用下，不但能被磁化，還能反過來影響原磁場，稱為「磁介質」。磁介質大致可分為順磁性、反磁性及鐵磁性三類。我們又將順磁性及反磁性物質合稱「弱磁性物質」，而鐵磁性物質又稱「強磁性物質」。在磁滯現象中，鐵磁性物質所具備的獨特特性才能被廣泛應用在日常生活中，故這份報告將不針對弱磁性物質進行討論。

鐵磁性物質中，相鄰原子的磁矩會彼此排列而形成磁域。而鐵磁性物質的原子磁矩，主要由原子中的電子自旋決定。在各磁域內，原子磁矩的排列方向相同，具有磁性；但各磁域間的排列方向為隨機，所以鐵磁性物質在沒有被磁化前並沒有磁性。

當出現外加磁場時，各磁域與外加磁場同方向；隨著外加磁場增強，自發磁化方向和外加磁場方向相近的磁域增大，總磁矩與磁化率也隨之增加；反之則縮小。當所有磁域的磁矩方向一致，即達到「磁性飽和」。若此時外加磁場離開，鐵磁性物質仍保有磁化量，我們稱這個現象為「殘磁」或「磁滯」。

值得一提的是，物質的磁性現象存在一個臨界溫度，稱為居禮溫度。在居禮溫度之上，鐵磁性會消失而變成順磁性，因此須將環境溫度控制在居禮溫度之下，鐵磁性才得以穩定保持。

六、磁滯曲線

如圖(二)，若將感應磁場為 B 之鐵磁性物質置於外加磁場 H 下：

(I) $a \rightarrow b$ 的過程：外加磁場由零逐漸增大，鐵磁性物質之感應磁場也隨之增大。當外加磁場增大到某一程度後，無論磁場再如何增大，鐵磁性物質感應的磁場也不再增大，此即達到飽和（ b 點）。

(II) b→c 的過程:逐漸減小外加磁場，鐵磁性物質之感應磁場亦隨之減小但減小較慢，並非沿原磁化曲線 ab 返回，而是沿另一曲線 bc 變化。直到外加磁場降為零，而磁性物質仍保有磁性，此即磁滯現象，而此時（c 點）之磁場強度則稱為該物質之殘磁性。

(III) c→d→e 的過程:通以反向磁場並逐漸加大，當鐵磁物質之磁性為零時（d 點）之外加磁場的大小即為此物質之抗磁力或矯頑力，或稱之為抗磁場強度。相同於正向之外加磁場之效應，反向磁場大到某一程度，鐵磁性物質磁化強度亦會達到飽和（e 點）。

(IV) e→f→g→b 的過程: 減小反向磁場至零點（f 點），鐵磁性物質仍具有磁性。再通以正向磁場，磁化曲線會沿曲線 fgb 到達 b 點而成一個封閉曲線。此封閉曲線即稱為磁滯曲線。

七、磁滯曲線的應用

鐵磁性物質中的磁滯現象有許多不同的應用。像是磁帶、硬碟和信用卡就都利用了鐵磁性物質中的磁滯現象來儲存數據。而要說到對人類貢獻最大的磁滯應用，肯定非硬碟莫屬了！硬碟(有時為了與固態硬碟互相區分，會改稱之為機械硬碟)是電腦上使用堅硬的旋轉碟片為基礎的記憶體。

如圖(三)所示，硬碟的結構大致可分為磁軌、柱面及磁區三部分。磁盤旋轉時，磁頭若保持在一個位置上，則每個磁頭都會在磁盤表面劃出一個圓形軌跡，稱為「磁軌」；在有多個碟片構成的盤組中，由屬於同一半徑圓但不同碟片的多個磁軌組成之圓柱面便稱為「柱面」；而磁盤上的每個磁軌被等分為若干的弧段便是該磁碟的磁區。在硬碟中的第一個磁區，更特稱為「開機磁區」。

硬碟會在平整的磁性表面儲存和檢索數字資料，且可以通過碟片被讀取。原理便是磁滯現象。當外加磁場施加於鐵磁性物質時，其原子的偶極子按照外加場自行排列。即使外加場撤離，部分排列仍會保持。此時，該材料已被磁化，

但其磁性仍會繼續保留。若要消磁，只要施加相反方向的磁場就可以了。這便是硬碟的運作原理。

當需要讀取硬碟中的資料時，主馬達會帶動碟片旋轉，副馬達則帶動一組磁頭到相對應的碟片上並確定讀取碟面的正面或反面。此時懸浮在碟面上的磁頭畫出一個與碟片同心的圓形軌道（稱為柱面或磁軌），再由磁頭的磁感線圈感應碟面上的磁性與使用硬碟廠商指定的讀取時間或資料間隔定位正確的磁區，從而得到該磁區中儲存的資料內容。

八、可能的磁滯曲線延伸應用

在高等數學中，存在一種把任何週期函數或訊號分解成一個、多個甚至是無窮個簡單振盪函數(即正弦函數和餘弦函數)的組合的特殊變換法，稱為傅立葉變換。這也就是我們造出方波、三角波、鋸齒波等特殊訊號所運用的技巧。一般而言，交流電的訊號會成正弦函數，如圖(四)所示。但我從第一次學到這個圖形就一直在想，或許這個圖形可以變換成如圖(五)的變化型態，為了方便描述，後文將以自創名詞「間歇交流電」稱之。在試著去理解傅立葉變換時，我認為間歇交流電很可能可以由波函數組成的無窮級數來近似、甚至是完全代換。但既然是無窮級數，收斂性是否存在就需要被驗證。因為若是訊號量無法收斂，那麼成功運行的可行性將為 0，而處理器的儲存量遲早會爆掉！假設未來的運算機器已經可以進行波函數的無窮疊加運算、而且可以得到某些將會收斂的組合級數，或許就能穩定供應間歇交流電，並與磁滯現象搭配應用。

如圖(五)，若是仿照微積分中所學，定義每個週期中的 A 部分為一正向訊號量、而 B 為一負向訊號量，除了各自的量值可以用簡單的積分技巧求得之外，或許能再加上程式的輔助，使處理器接收到負向訊號(由每個周期的 B 部分所發出)時，能辨識為正向訊號的反向操作(例如：定義正向訊號為傳送一些加密檔案到某個雲端平台，則負向訊號便是要求從該平台上取回先前傳送的訊號)。這樣一來，或許就能在科技業、電玩領域，甚至是國家機密的維護上做出改善與

進步。

如圖(六)的簡單設計圖所示，在一個由交流電供應器(AC supplier,ACS)、交流電合成器(AC combiner,ACC)、運算電腦(cumputer,CP)、記憶體(CPU)與訊號傳送裝置(deliver device,DD)所組成的零件系統中，安裝已經妥善消磁的磁質儲存系統(storage system,SS)。首先先由 CP 進行傅立葉轉換運算，將一會收斂的訊號運算傳送至 ACC 進行合成，用以合成的訊號由 ACS 供應。完成此前置作業後，便會產生對應的電磁波，稱為「間歇電磁波」。雖然看起來可能會是一種奇怪的非典型曲線，在此先假設如圖(七)所示。再於此時插入 SS 使其運行，那麼在交流電訊號趨近於 0 的時段，便可視為使 SS 消磁所必須的「漸弱的交流電場」的環境。換言之，在上半週期時，SS 已將訊號釋放至 DD 處，進而輸入 CPU 進行後續處理，而後 SS 被消磁，訊號量清空。此時已來到下半週期，由負向訊號進行反向操作，將已經 CPU 處理、壓縮或加密過的訊號，再次寫入 SS 之中，並傳送回發送源進行後續利用或處理。而間歇週期可由傅立葉轉換計算出最恰當的時間差，確保兩方的處理器都有餘裕可以妥善運行。

這樣一來，進行遠距傳輸時，只要設定好適當週期，便可將處理器的負載量以驚人的幅度壓縮，達成增加工作壽命的目標。再舉個更誇張的例子，國家機密在加密傳輸的過程中，若是引入間歇交流電的應用，便能提升安全性，且經過消磁後，SS 中的訊號要求便全數抹去，船過水無痕，就算國際駭客有能耐破解外加的安全防護系統，也無法從空白的 SS 中讀取到任何內容。

雖然間歇交流電這個想法看起來只是憑空的胡思亂想，在處理期間也定有諸多我根本想不到的問題需要克服，例如間歇交流電或間歇電磁波的產生，即便可行，會不會有效率上的缺陷、對人體有害的能量外洩、穩定性不足的問題，甚至從根本而言，或許間歇交流電根本就不可行。這些在我的腦中，只能以大大的問號草草帶過。但我認為想像是無需任何限制的，我只是提出一種在我想像中可行且表現優秀的運行模式，而且在思考的過程中獲得許多成就感而已！

九、後記

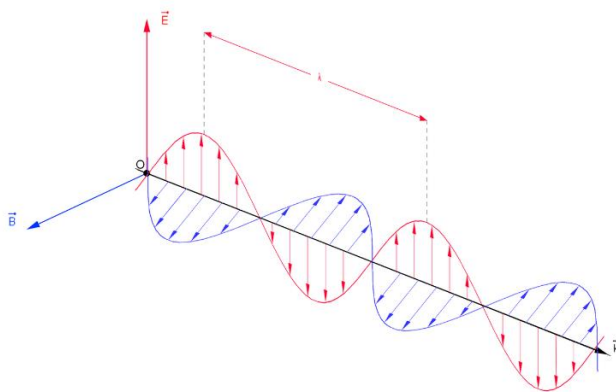
在準備這份報告的過程中，除了普物課本外，我也看了許多網路上的教學或是維基百科等等資訊平台，使我學到了好多高中物理並未提及的電磁學觀念，以及在生活中可能應用。剛開始在思考磁滯曲線的應用時，我難以跳脫已知物理現象的框架，所以苦思好幾天仍然一無所獲。但在查資料的過程中，我驚覺那些留名千古的科學家們，無一不是在嘗試推翻或修正當時的那些「已知」，而且成功的案例俯拾皆是。所以便決定放手一搏，提出了「間歇交流電」這個看起來有點荒唐的設想。雖然因大一所學真的有限，所以只能把傅立葉變換、電磁波等高深概念的推導過程當成賞析來看，無法自己著手推演，但相信未來的我一定有機會能學到這方面的知識！最後，雖有許多未盡之處，但我也花了許多時間，力求這份報告內容簡潔、清楚又不失重點，希望教授及助教能喜歡這份報告！

十、文中提及之圖表附註（為了簡化版面，表格內部份字體略小一些）

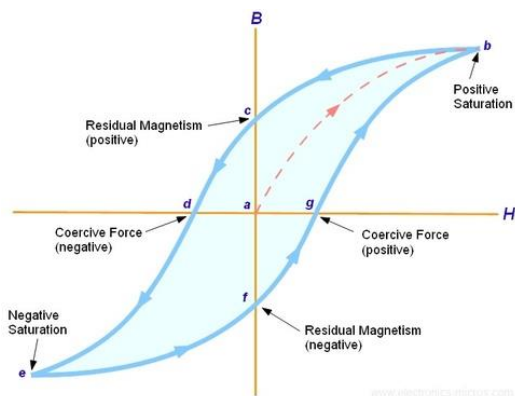
名稱	運算式	物理意義
電場高斯定律	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{nec}}{\epsilon_0}$	在一電場中，穿過任一封閉曲面的靜電力線數與該封閉曲面內所圍之淨電荷量成正比。
磁場高斯定律	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$	因磁力線為封閉曲線。故磁場中穿過任一封閉曲面之淨磁力線數必為 0。
法拉第電磁感應定律	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	若封閉迴路內所圍面積之磁通量隨時間改變，則迴路內會產生感應電場。此感應電場所生之感應電動勢與磁通量時變率成正比。

安培-馬克士威定律	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i_{nec} + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt})$	磁場中沿任一封閉曲線之環場積與該封閉曲線內之淨導線電流與位移電流的和成正比。
勞倫茲力方程式	$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = \frac{d\vec{P}}{dt}$	受到電場作用，正電荷會朝著電場的方向加速；但受到磁場的作用，正電荷會朝著垂直於速度和磁場的方向彎曲。此時處於磁場內的載電導線受到的磁力就是勞倫茲力的磁力分量。
電荷守恆定律	$\nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$	整個宇宙的總電荷量不會隨著時間的演進而改變。

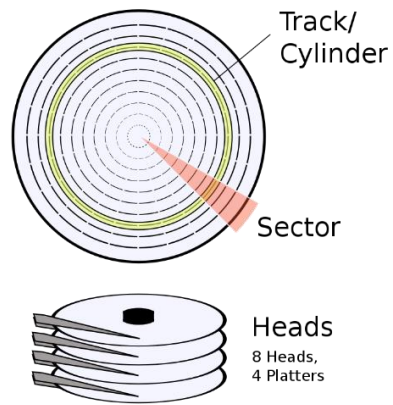
表(一)電磁學六大方程式



圖(一) 電磁波



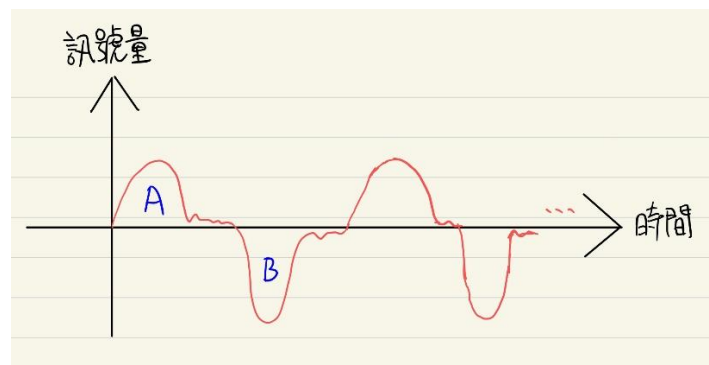
圖(二) 磁滯曲線



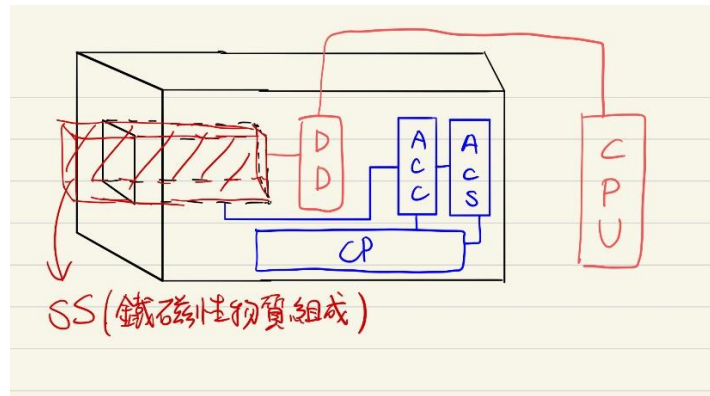
圖(三) 磁軌(Track)、柱面(Cylinder)、磁區(Sector)、磁頭(Heads)、
碟片(Platters)。每個碟片都有兩面，因此也會相對應每個碟片有 2 個磁頭。



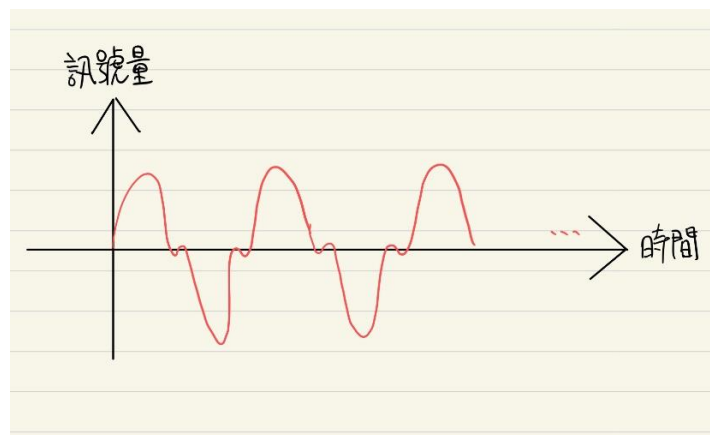
圖(四)



圖(五)



圖(六)



圖(七)

十一、本報告所有參考資料來源及連結

一、圖片部分：

圖(一) 維基百科:電磁波 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%94%B5%E7%A3%81%E6%B3%A2>

圖(二) google:磁滯曲線

圖(三) 維基百科:硬碟 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A1%AC%E7%9B%98>

圖(四)~圖(七) 自己手繪

二、參考資料部分：

1. 李永樂老師 youtube 頻道:傅立葉變換

<https://www.youtube.com/watch?v=0LuyxqI3Hk>

2. 李永樂老師 youtube 頻道:馬克士威方程組

https://www.youtube.com/watch?v=5APw_8kKJac

3.台大普物實驗課本

4.維基百科:

電磁波、交流電、磁滯、硬碟、傅立葉轉換、無窮級數、

波函數、鐵磁性、詹姆斯·克拉克·馬克士威