

磁滯曲線測量

作者 2009： 陳顯、余祥鳴

修訂 2010： 梁玄翰、賴明昱

Objective:

測量並繪出不同鐵磁性材料之磁滯曲線，由磁滯曲線比較其磁性的差異，並試著以物理的方式解釋造成此差異之原因。

PRE-LAB READING:

Introduction:

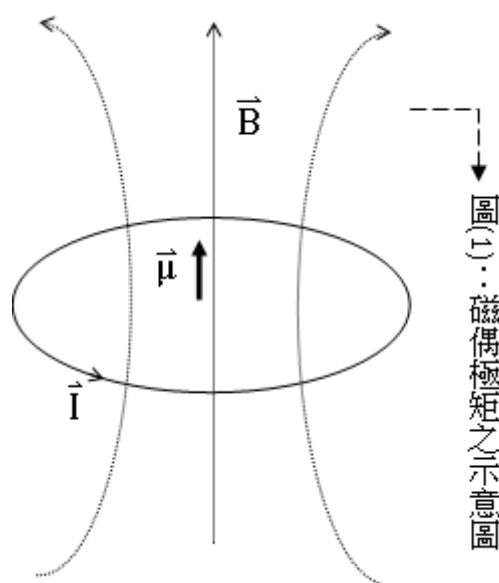
磁滯現象是鐵磁性物質具有的特性，內部磁田(本身具有磁偶極矩)在受到外加磁場時，因為磁田之間存在摩擦力，使磁偶極矩之方向不易與外加磁場同向(由於彼此牽制的結果)，此即為磁滯現象之構成因素。鐵磁性材料在被磁化後，既使移除外加磁場，仍能保持一定的磁性，此特性使得磁性物質的應用相當廣泛，如生活中常見的磁鐵即為一例。這次實驗中會提供不同種類的鐵磁性物質，為了瞭解其個別的磁滯特性，需要利用一些實驗儀器來測量外加磁場(由電流控制)所造成待測物磁化的水平磁場分量，並在此實驗中了解其背後所應用的基本物理。

Requisite Concepts:

1. 磁偶極矩(Magnetic Dipole Moment) $\vec{\mu}$:

在介紹磁滯現象前，先引入一些本實驗所需的原理及概念，以下分述之：

想像一通以電流的環狀電路(參考右圖(1)的磁偶極矩示意圖)，根據電流方向會產生某方向的磁場，則可稱此物件有磁偶極矩。磁偶極矩之規模大可至通以電流之線圈，小可至原子中運行的電子，只要電流的環繞具有一定的規律性並產生某方向的磁場，即可將其概括於內。磁偶極矩 μ 與電偶極矩 \vec{P} ($\vec{P} \equiv q\vec{d}$) 有著類似的特性，下面分別比較力矩以及位能：



I. Torque: $\vec{\tau}_B = \vec{\mu} \times \vec{B}$; $\vec{\tau}_B = \vec{P} \times \vec{E}$

II. Potential: $V_B = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$; $V_E = -\vec{P} \cdot \vec{E}$

經比較後可發現兩種公式除在符號以外，電場與磁場的表現型式完全相同。

2. 鐵磁性物質簡介(Ferromagnetism):

鐵磁性物質原子本身具有磁偶極矩，各磁偶極矩之間存在耦合作用，使某區域內的磁偶極矩受彼此的磁場影響而同向排列，由同向磁偶極矩所組成的區塊被稱為磁田。鐵磁性物質在從未受到外加磁場磁化的情形下不具有磁性，因為其內部各個磁田的磁偶極矩方向呈散亂的排列，並沒有偏向任一方向。若外加一磁場於此物質，各個磁田的排列會趨向磁場的方向(使磁位能達最小)，由於受到周圍磁田所產生磁場的影響，使得磁田之磁偶極矩轉向受阻礙，因而在外加磁場不夠大的情況下無法將各磁偶極矩同向排列，只能使磁偶極矩趨向磁場的方向，此即磁滯現象。不同種類的鐵磁性物質在受到外加磁場作用時，其內部磁偶極矩的偏轉效果會隨著鐵磁性材料的不同而有所差異。也就是說，其「殘磁」的程度不同。

為了更清楚的表示外加磁場對鐵磁性材料內部磁田的作用，下面示意圖為某鐵磁性材料在受到不同強度之外加磁場作用時內部的磁偶極矩排列方式：

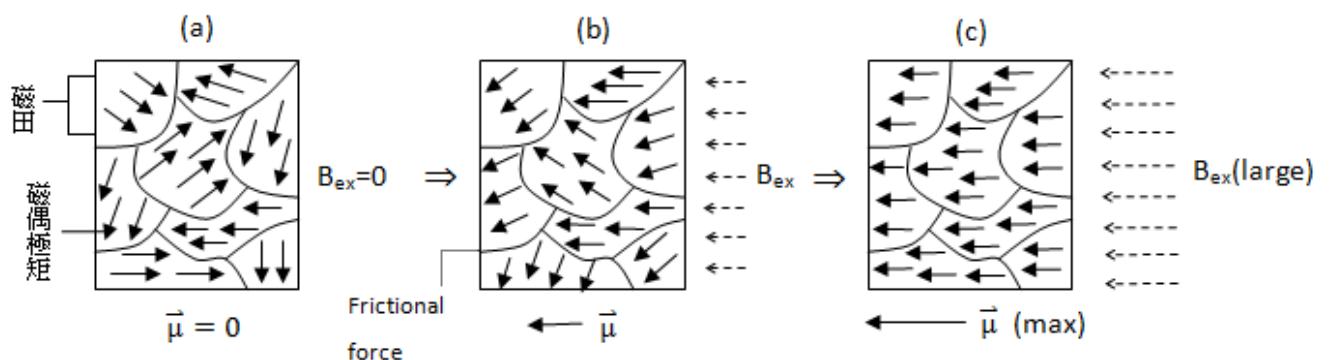
3. 磁滯曲線：

右圖(三)為磁滯曲線之示意圖， H 施加於樣品的外加磁場大小， B 為被此外加磁場磁化的樣品所產生之磁場大小， B_r 為飽和磁場大小(此時內部磁偶極矩均與外加磁場同向，且磁偶極矩已達最大值，情況如同圖(2)之(c)的飽和磁性狀態)。

本實驗之外加磁場是由通以電流之螺線圈 H 產生(把樣品至於其中即可將樣品磁化)，且螺

線圈中心均勻磁場與電流的關係為： $H(\text{Oersted}) = \frac{1000}{4\pi} \cdot n \left(\frac{\text{圈數}}{\text{m}} \right) \cdot I(\text{A})$ ，其中 n 為單位長度

之線圈匝數，由此可知外加磁場與螺線管之電流呈正比關係。圖(三)將曲線分為五個步驟(由 1 至 5)，曲線由原點開始出發(材料尚未被磁化的狀態，與圖(2)之(a)的情形相同)，最終回到 $B=-B_r$ 的位置(情況如同圖(2)之(c)的飽和磁性狀態)，各步驟的細節在接下來的內容中會有較詳盡的解說。



圖(2)：鐵磁性物質受外加磁場之內部磁偶極矩排列方式示意圖

(a)無外加磁場的時候，磁田呈散亂分布，此時材料不具有磁性。

(b)當施加一外加磁場時，因為磁滯現象，內部磁田磁矩不會完全朝向同一方向，此時磁場未達飽和，會隨著外加磁場的增加而增加。

(c)當外加磁場達一定量值時，材料內磁矩全部朝向同一方向，此時內部磁場達最大值。

在圖(3)，當 $H=0$ 時，外加磁場已不存在，但 B 此時並不為零，這現象(殘磁)即為磁滯現象的特徵，另一方面，圖(3)之 $H = \pm H_c$ 位置可發現材料本身沒有磁性($B=0$)的情況事發生在外加磁場 H 不為零時，因此，要將鐵磁性物質消磁的最好辦法並非靠將外加磁場去除。

既使外加磁場已消失且有熱運動的影響，但於磁田間的摩擦力會將各磁偶極矩固著，使各磁偶極矩仍偏於原來的方向，因而從整體材料看來仍具有磁性。殘磁的例子可從圖(2)的逆操作來闡釋(由(c)圖開始)，當外加磁場回到零時，磁偶極矩的排列並不會如圖(2)的(a)那般散亂排列，而是像(b)中趨於某方向，因而具有殘留的磁性。

Formulas for experiment:

一、計算磁偶極矩產生之磁場：

下圖(4)含測量點(R 點，亦為實驗中之磁針位置)及細長磁棒(長 \overline{PQ})，兩者位於同一平面上。根據資料，空間中由位於 r' (場源)之單一磁偶極矩所產生於 r (測量點)之磁場為：

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{3\hat{p}(\hat{p} \cdot \vec{r}) - \vec{p}}{r^3} \quad (1)$$

\vec{p} ：磁偶極矩(實驗中方向為 \hat{z})；

\hat{p} ：從磁偶極矩到測量點的單位向量；

$$\rho = \sqrt{QR^2 + z^2};$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1} : .$$

圖(4)中細棒上一小段 dz 所產生之磁場為：

$$d\vec{B} = \frac{N}{V} \cdot A(dz) \cdot \frac{3\hat{p}(\hat{p} \cdot \vec{r}) - \vec{p}}{r^3} \quad (2)$$

V ：細棒體積；

N ：細棒之磁偶極總數

A ：細棒截面積

⇒取 $d\vec{B}$ 之 X 軸向分量：

$$dB_x = \frac{N}{V} \cdot A(dz) \cdot \frac{-3\overline{QRz}\mu}{(\overline{QR^2 + z^2})^{5/2}} \quad (3)$$

⇒沿 Z 軸做積分：

$$B_x = \int_0^{\overline{PQ}} \left(\frac{N\mu}{V} \right) \cdot A \cdot \frac{-3\overline{QRz}}{(\overline{QR^2 + z^2})^{5/2}} dz = \frac{MA}{\overline{QR^2}} \cdot \left[\frac{\overline{QR^3}}{(\overline{QR^2 + PQ^2})^{3/2}} - 1 \right] \quad (4)$$

$$M = \frac{N\mu}{V} : \text{單位體積之磁偶極矩總數}$$

得到之 B_x 即為磁棒於該測量點之磁場水平分量

註：或許有人會懷疑垂直磁場分量是否會應用在實驗中，其實不然，相反地，垂直磁場的存在會影響到水平磁場的測量，為了避免此情形，下面內容會提到如何修正垂直磁場的影響。

二、計算造成磁針偏角之外加磁場強度：

圖(6)為偏轉磁力計之簡圖。

磁針(圖中較短的菱形)因為具有磁性，因此在磁場中會受到力矩而順於磁場的方向。

指針(較長之菱形)則不具磁性，其功能為指向與磁針垂直之方向，且其長度也較便於觀察，用來讀取位於刻度盤上的角度。

B_E 為原本即存在之地磁。

B_{ex} 為由鐵磁性物質所產生的磁場。

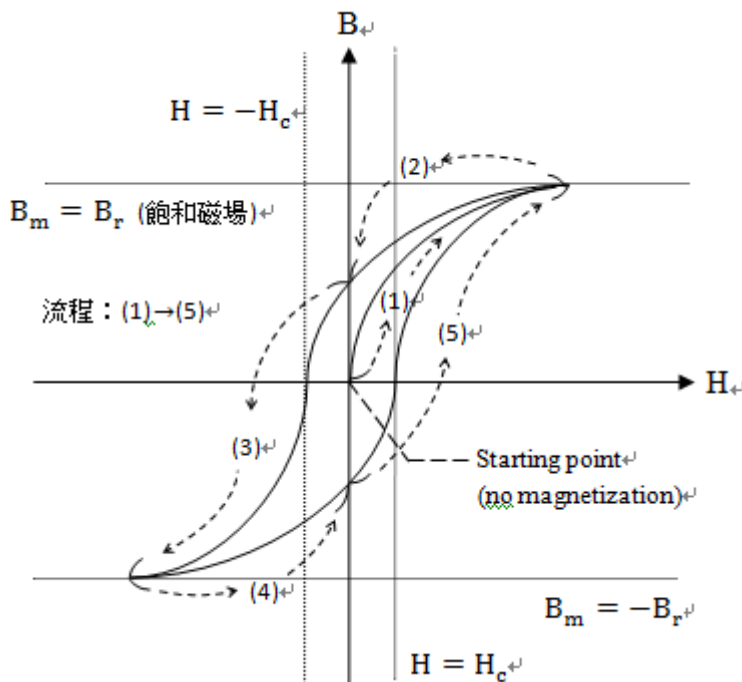
圖中虛線部分表示只存在地磁情況下的指針方位。 φ 角為加入鐵磁性物質磁場後與指針與原方位相較的偏角。

圖(7)表相互垂直磁場 B_E 及 B_{ex} 所造成磁針之偏角 φ ，若以正切值表式即可得到兩磁場之比例關係：

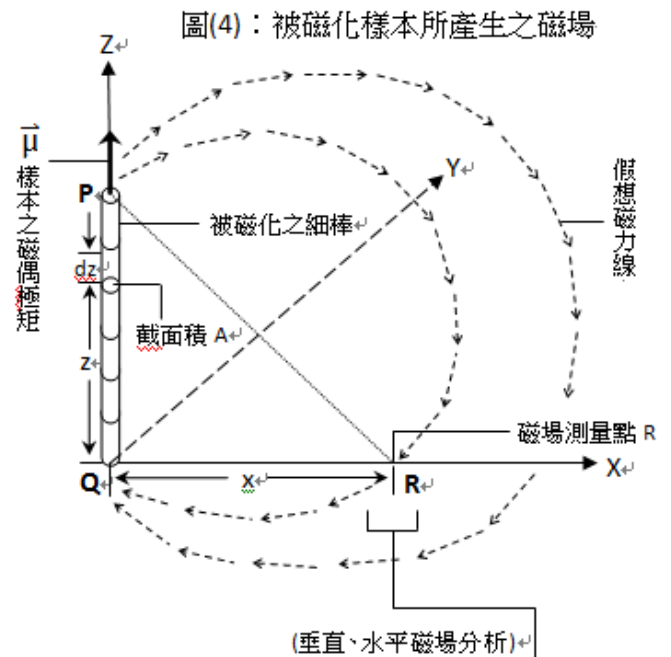
$$\tan \varphi = \frac{B_{ex}}{B_E} \quad (5)$$

B_E 為(水平地磁強度) $\cong 0.36\text{Gauss}$

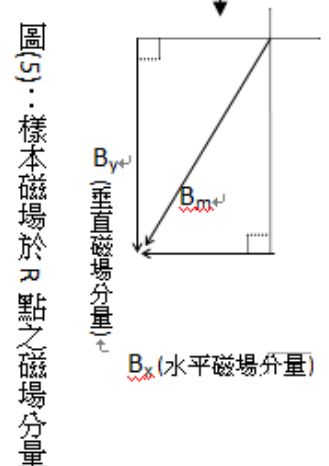
將 B_{ex} 待入公式(4)之 B_x 得：



圖(3)：磁滯曲線示意圖



圖(4)：被磁化樣本所產生之磁場



圖(5)：樣本磁場於R點之磁場分量

$$M = \frac{B_E \overline{QR}^2}{A \left[1 - \frac{\overline{QR}^3}{(\overline{QR}^2 + \overline{PQ}^2)^{3/2}} \right]} \cdot \tan \varphi = \alpha \tan \varphi \quad (6)$$

為了方便表示，在此定義：

$$\alpha = \frac{B_E \overline{QR}^2}{A \left[1 - \frac{\overline{QR}^3}{(\overline{QR}^2 + \overline{PQ}^2)^{3/2}} \right]} \quad (7)$$

(三)螺線管中心之均勻磁場計算 (Unit：A/m, or Oersted 厄斯特)：

下面為本實驗適用的參考公式：

$$H \text{ (A/m)} = I \text{ (A)} \cdot n \text{ (turns/m)} \quad \text{in SI units} \quad \text{or}$$

$$H \text{ (Oersted)} = \frac{4\pi}{1000} \cdot I \cdot n = 23.9 I \quad (8)$$

Ref. <http://en.wikipedia.org/wiki/Oersted>

$n = 1900 \text{ turns/m}$ ：每單位長度之線圈匝數(turns per meter)

I ：通過螺線管之電流

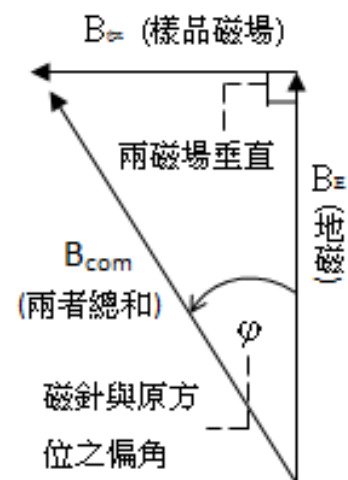
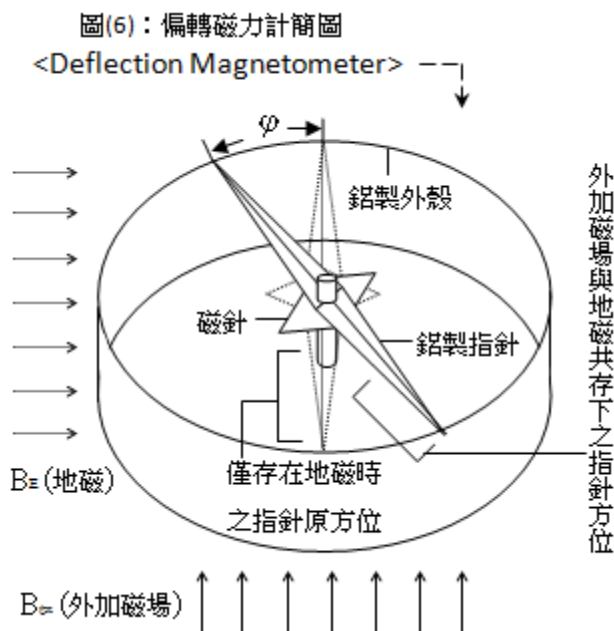
(此公式與以高斯為單位之公式極相似： $B_0 = \mu_0 \cdot I \cdot n$)

又， $B(G) = \mu_r \cdot H(\text{Oe})$ ， μ_r 為相對磁導率，故在真空中， $1G=1\text{Oe}$

Apparatus:

- 螺線管 H(用來置入並磁化待測鐵磁性物質)、線圈 C(用以抵銷螺線管 H 所產生之磁場)
- 偏轉磁力計(Deflection Magnetometer)
- 固定用底座(長條狀附有軌道及直尺之木板，用已承載(a)、(b)之元件)
- 電流供應器(使用定電流)
- 去磁用儀器組(變壓器、去磁用螺線管、於電流檔之三用電表)
- 待測樣品(軟鐵、鋼、 μ -metal、鎳)

apparatus 中的儀器可由下面的圖(8)至圖(10)加以對照⇒



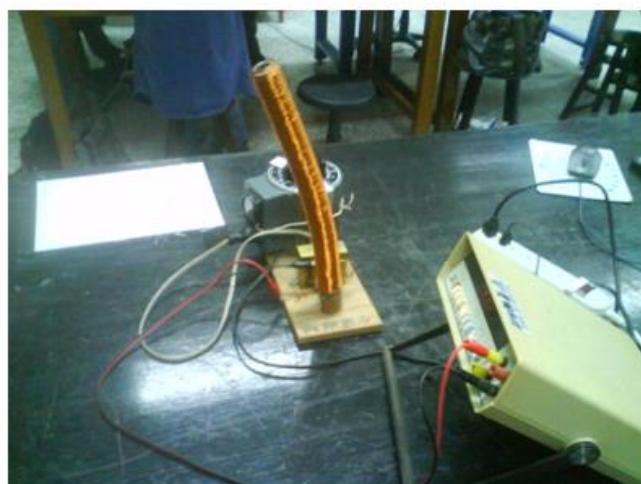
圖(7)：由樣品產生之磁場所造成的偏角

QUANTITY	SYMBOL	SI UNIT	SI EQUATION	CGS UNIT	CGS EQUATION	CONVERSION FACTOR
Magnetic induction	B	tesla (T)	$B = \mu_0(H+M)$	gauss (G)	$B = H + 4\pi M$	$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$
Magnetic field strength	H	ampere/meter (A/m)	$H = N \times I / l_c$ (l_c - magnetic path, m)	oersted (Oe)	$H = 0.4\pi N \times I / l_c$ (l_c - magnetic path, cm)	$1 \text{ A/m} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$
Magnetic flux	Φ	weber (Wb)	$\Phi = B \times A_c$ (A_c - area, m^2)	maxwell (M)	$\Phi = B \times A_c$ (A_c - area, cm^2)	$1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ M}$
Magnetization	M	ampere/meter (A/m)	$M = m/V$ (m- total magnetic moment, V- volume, m^3)	emu/ cm^3	$M = m/V$ (m- total magnetic moment, V- volume, cm^3)	$1 \text{ A/m} = 10^{-3} \text{ emu} / \text{cm}^3$
Magnetic permeability of vacuum	μ_0	newton/ampere ²	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	1	-	$4\pi \times 10^{-7}$



圖(8)：基本儀器對照圖

註：由圖可知此四樣儀器可藉由底座固定再一起並排成一線，此設計在實驗中是必要的。



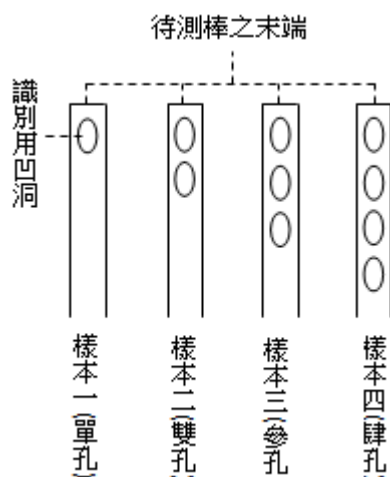
圖(9)：去磁用儀器組共含去磁用螺線管、變壓器及三用電表

註：去磁用儀器使用的是交流電，如此便可用螺線管中不斷變換的磁場「擾亂」欲去磁樣品的磁偶極排列，如此便可達到去磁的目的。

Generalized Procedure:

- 1.取一待測細棒，並將其置入消磁儀器中以去磁。
- 2.開啟電源，將已消磁之細棒置入螺線管中。
- 3.調整電流，依照步驟測量磁針偏角隨電流的變化。完成此樣品的測量。
- 4.依所得之數據，繪製本實驗之磁滯曲線。

※注意事項：實驗前注意四周磁場環境(可發現將指南針放在不同位置其指向不同)，基本上須遠離電器用品、柱子(柱子中的鋼筋相當於電磁鐵)。



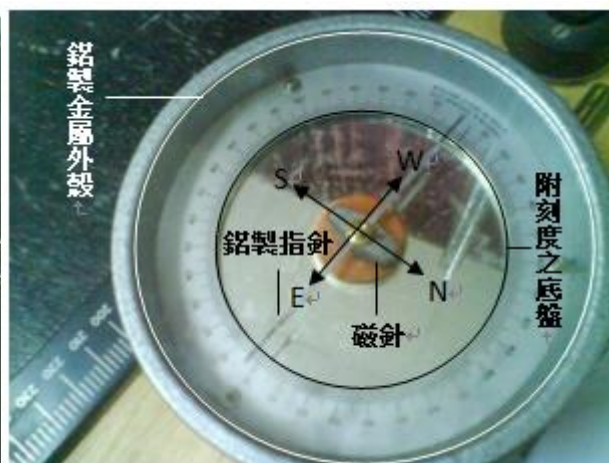
圖(10)：樣本辨別方法

由於藉由樣品的表面色澤難以直接判斷其差異，所以另外在各樣品上打洞，藉著孔洞之數量來表示各樣品的類別。以下為各樣品所內含的材料：

樣品一：軟鐵 樣品二：鋼 樣品三：mu-metal 樣品四：鎳



圖(11)：儀器擺設圖(未通電流)
(含螺線管 H、偏轉磁力計、C 線圈)
註：磁針的部分可能不太清楚，
可以參考下面圖(10)的構造分析。



圖(12)：偏轉磁力計之構造簡介
圖中為只存在地磁的情況，注意磁針為南北向，鋁製指針因其材料不具磁性，因此並不受地磁影響，因方便所以設計成與磁針垂直。

Pre-Lab Questions:

1. 詳細敘述 $\tan\phi$ 、 B_x 、 B_E 、 M 、 H 、 I 間的關係。
2. 如今若給定條件：螺線管單位長度之匝數 $n = 1.5 \text{ turns}\cdot\text{cm}^{-1}$ ；通過螺線管之電流大小 $I = 1.6 \text{ A}$ ；樣品長度=25cm；螺線管中心軸至磁針中心的距離 = 5cm；樣品直徑 = 2mm、水平地磁強度 $B_E \approx 0.36 \text{ gauss}$ ；磁針偏角 = 45° ，根據上面所提供的公式，求出其 H (Oe) 及 M 值。
3. 根據上面的介紹，若將去磁用儀器的電源改接直流電，是否能將物品去磁？為什麼？
4. 為什麼圖(6)中需要強調除了磁針之外其他材料都是鋁材質？
5. 閱讀完上面的內容後，根據你的了解，什麼是磁滯現象？簡述其原因。

IN-LAB ACTIVITY:

Set up Apparatus:

一、儀器基本擺設(螺線管 H、偏轉磁力計、C 線圈)：

將儀器於置於平面上並沿「指針」方向擺設，也就是呈東西向擺設(與地磁之南北向垂直)，參照下圖(11)、圖(12)。注意圓盤中之「磁針」與「指針」並不相同，磁針為較短粗的磁棒，於外加磁場中會受一力矩；細長的指針僅用來標示目前之旋轉角度，本身不具有磁性。旋轉刻度盤使「指針」讀數為零，此時三種儀器應立於同一直線上。

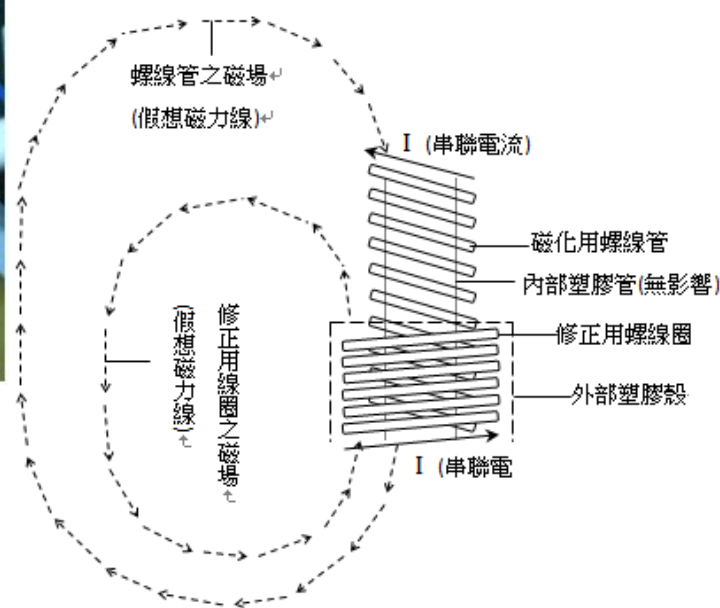
(二) C 線圈與磁偏轉磁力計之距離調整(固定螺線管 H 與磁針之距離)：

將螺線管 H(內部未放置待測物)與偏轉磁力計之距離取為 8cm(此距離甚短，目的在於使後面的步驟有利於觀察，但並不會產生明顯的誤差)，此距離在本實驗中可固定，無論用何種待測樣本。將螺線管 H 與 C 線圈以串聯後通以電流 2A(較大的電流可使修正效果更精確)，此時磁針應會偏轉(若沒偏轉，代表螺線管磁場水平磁場分量已恰好被線圈磁場抵銷)，調整 C 線圈與偏轉磁針之距離，直到「指針」讀數再度回到零，經修正後指針方位應回到圖(b)的情形，也就達到消除兩線圈水平向磁場的目的。



圖(13)：修正用線圈位置標示

註：從外表難以看出內部的結構(被塑膠外殼保護)，但其中實存在一線圈，詳細的情形請參考下圖(14)。螺線管 H 包在裡面，包在外部可見的較疏線圈也是校正用線圈



圖(14)：修正用線圈與螺線管之配置示意圖

(三)抵銷鉛垂向的磁場分量(沒有操作，但建議閱讀)：

由於地磁的鉛垂分量很小，其影響於本實驗中可被忽略，但須注意的是螺線圈 H 所產生的磁場也具有鉛垂分量，當電流夠大時，其垂直像磁場有可能會干擾到磁針的運轉。所幸，儀器當初的設計有將此納入考量，由下圖(13)中可看到螺線圈 H 底部有一小型的裝置，其內部為一線圈，可用來抵銷由螺線圈 H 所產生之鉛垂向的磁場分量。

註：由圖(14)可知兩線路的電流相同(因為兩者串聯)但方向相反(由於電線的盤繞方向相反)，使得產生之磁場於水平之分量會互相抵消，如果能準確地掌握兩線圈單位長度之匝數的比例，便能恰將水平面上的垂直磁場分量消去(垂直的磁場分量會影響實驗的測量準確度)。

(四)設定磁針最大偏轉角：

先固定螺線圈 H 與偏轉磁力計的距離，將四個待測物各別放入螺線管 H 中，通以 2A 電流後，若磁針偏轉有超過 60 度的情形，則須增加螺線管 H 與偏轉磁力計之距離使偏角小於 60 度(建議在 60 度以下即可，角度不可太小，以免造成觀察上的困難)。放大。若上述距離有修改，則必須再重複 SET UP(二)之步驟以抵銷螺線圈 H 所產生於偏轉磁強針上的水平磁場。

注意事項：

本實驗所提供之待測物飽和磁場強度並不高，因此既使將磁針貼近螺線管亦不會有任一磁化之樣品能使其偏角大於 60 度，雖然於本實驗中不需擔心最大偏角之問題，但仍須了解偏角之大小對於實驗誤差的影響。

(五)待測樣品去磁(待測樣品要使用時再去磁，以免在使用前又被它物磁化)：

1.參考下圖(15)，旋轉變壓器之電壓扭，將電流調至最小，再把欲去磁之待測樣本放入去磁用的螺線管中。把電流調至 2~3A 之間(勿超過 3A，以免燒壞線路)，接著逐漸將電流調回最小值(不要調降太快)。

2.待調回最小電流後，將待測樣品以從另一端放入螺線管中，重複同樣步驟，即完成樣品的去磁。



圖(15)：去磁用儀器組標示

註：儀器大致上沒有操作的問題(根據上述步驟)，但須注意的是去磁用螺線管外型有些歪斜，導致其扭曲的原因是線圈在長時間通已較大電流時，高熱的線圈將內部的塑膠管軟化，所以請操作者勿將電流調太大，為的不但是避免燒壞電路，也是保護內部塑膠管不致融斷。

Measurement:

※測量樣本說明：

不同樣本的隨外加磁場的磁化反應不同，其中每種樣本的磁場變化在某些電流大小附近時會有劇烈的變化(磁滯現象的影響)，以下列舉出不同樣本測量中所需注意的電流範圍，此範圍內之測量應以更小的電流間隔單位(由平常的 0.2A 改為 0.1A)：

表 1.: 各材料測量中需細調(0.1A)之電流範圍調整時注意以電流微調鈕(1 mA 為間隔)慢調較好。(電流調整方向可參考圖(3)之箭頭方向)

樣本種類	須細調之電流範圍
軟鐵(樣本一)	- 0.4A~0.4A
鋼(樣本二)	+ 0.2A~- 2.0A
Mu-Metal(樣本三)	+ 0.2A~- 2.0A
鎳(樣本四)	+ 0.6A~- 0.6A

上面的範圍可供參考，但若在此電流範圍外有大幅之磁場變化，仍須縮小電流之間距。

(因為在原點附近 \tan 值會驟降，，需要較多的點來形成完整的圖，建議每一開始能慢調電流，以指針轉動一格作記錄，而不以電流值座間隔)

因為這樣測量出的詞滯曲線較平滑。)

※註：流程可參考圖(3)，其圖形僅為參考，樣品實際之磁滯曲線可能與其相差甚遠。

一、測量&記錄數據：

1.先完成 Set Up 的步驟。接著把電源供應器(其上所顯示的準確度與三用電表相當，所以不需再接三用電表)、螺線圈 H&線圈 C 以串聯方式連接，將電源供應器的電流鈕轉至零，電壓旋鈕大小不為零，使供應器處於 CC 模式。

2.完成步驟 2.的電源調整後(保持電源開啟的狀態，直到全部測量結束再關閉即可)，取已去磁之待測樣品一，將其放入螺線管 H，完成準備工作。

注意：過程中若電流不小心轉太多，勿將電流往回調，否則會導致最後得到的磁滯曲線形狀會有問題。

下 Step (1)至 Step (5)為樣品一的測量，其餘樣品的測量採用與其相同的步驟：

Step(1):

將電流由 0.0A 調至 0.1A，待電流穩定後記錄偏角，繼續調增電流(參考表 1，注意電流的間距)並計錄穩定時的偏角，直到偏角不再隨著電流增加而上升，此時待測物的磁性已飽合，即可停止增加電流(此時電流約 2.0A)。

Step(2):

調降電流 (從上一步驟飽和時之電流)，以相同方式記錄電流&偏角，直到電流為零。

Step(3):

不要關電源(此時電流為零)，直接將線圈 C、螺線管 H 的電流反接，重複步驟 Step(1)之方法，調增電流並記錄偏角，直至磁性再度達飽和。

Step(4):

重複步驟 Step(2)之方法，調降電流並記錄偏角，使電流大小再度回到零。

Step(5):

再次將電流反接(回到當初的電流方向)，重複 Step(1)之方法調增電流並記錄偏角，直至待測樣品再度達到飽和磁性，已完成樣品一的測量。

- 1.將電源調回零(已完成該樣本之測量)，並將樣本一抽出。將下一個欲測之樣本去磁並置入螺線管 H 中，準備測量。**※注意：**樣本四必測量，樣本二、三取一測量即可。
- 2.樣本二、三、四的測量方法重複上述樣本一之步驟。(同時參考表 1.之注意電流範圍。)

二、繪圖：

- 1.將各樣本測量中所對應到電流之磁針偏角換算成正切值(tangent)，並根據各樣本之成對的 I(電流)、 $\tan \varphi$ 值於 X-Y 平面上繪出磁滯曲線 (X 軸：電流 I；Y 軸： $\tan \varphi$)，並試著將各材料之磁滯曲線疊合，比較其之間的差異(此圖作用在於了結初步數據)。
- 2.透過 I&H(Oe)關係式及 $\tan \varphi$ & M(或 B)關係式(參考 formulas for experiment)，於 X-Y 平面上繪出磁滯曲線 (X 軸：H(Oe)；Y 軸：M 值(或 B 值))，並試著將各材料之磁滯曲線疊合，比較其間的差異。

繪圖基本要求：

- a.各磁滯曲線圖形中之 X 軸與 Y 軸座標的最大與最小值應固定，規格統一能讓各材料之磁滯曲線更容易相互比較，避免產生誤判的情形。
- b.磁滯曲線繪圖的表示方法採連續平滑曲線的方式，平滑曲線比較能幫助觀察各材料的磁場變化。

Report Questions:

- 1.螺線管 H 與線圈 C 串聯的用意何在？
- 2.觀察並分析四種樣本的磁滯曲線，想想造成曲線差異的可能因素。
- 3.測量過程中可能會發現不同樣本的去磁效果並不同，有些樣本會殘留較多的磁性，試說明此現象。**Hint:**可參考各樣本之磁滯曲線，並與去磁效果相對照。
- 4.為什麼偏轉磁力計的磁針要設計成短狀？**Hint:**注意本實驗測量乃為 R「點」之磁場。
- 5.樣品去磁除了用實驗提供之儀器外，仍存在其他方法，試舉例說明。(參考：熱運動)
- 6.為什麼將兩塊家用磁鐵同極相抵並不會讓彼此消磁？
- 7.估算磁滯曲線中的面積並探討其所代表的意義為何？其與磁滯曲線繞行一圈所消耗/獲得的能量有何關聯？