

7 螺線管中的磁場

【1】目的：測定螺線管中磁場之大小。

【2】儀器：扭力平衡器、照明燈一組附橫尺及 110V→6V 變壓器、電源供應器、安培計、捲尺、小磁棒。

螺線管組 N0.1 兩個 $D=12\text{ cm}$ ， $L=30\text{ cm}$ ， $N=60$ 。

螺線管組 N0.2 兩個 $D=7\text{ cm}$ ， $L=30\text{ cm}$ ， $N=60$ 。

N0.1 有紅綠兩色線圈，兩色都連接時每管有 120 匝。

【3】原理：

當長直導線上有電流 i 通過時，導線周圍即有磁場 B ，此現象為奧斯特 (Oersted) 所發現，而安培對此現象做詳盡分析後，認為磁力線都為封閉曲線，且在一封閉路徑之場周積與封閉面積內之淨電流成正比，此乃安培定律。以積分式表示為

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$ 為空氣之導磁係數。如將長直導線彎曲成螺旋狀並繞緊則成為所謂之螺線管，通電後管內將產生一均勻磁場分佈如圖一。定義 $n = N/L =$ 單位長度的線圈數，若螺線管很長 ($L \gg R$)，則由安培定律可算出螺線管內部的磁場。

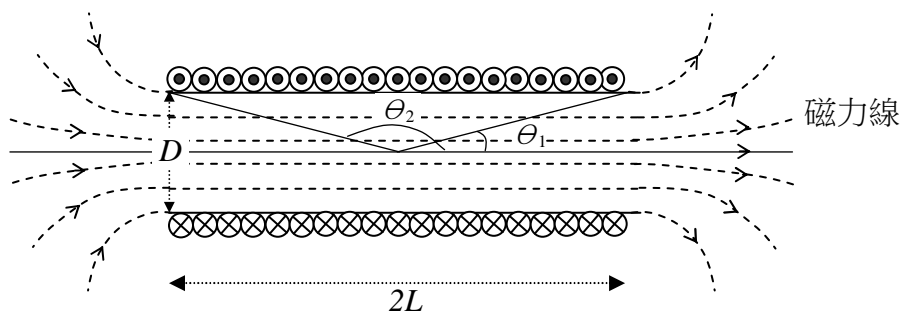
$$B = \mu_0 n i \quad \dots\dots\dots (2)$$

但有限長之螺線管沿對稱軸上任一點之磁場強度為

$$B = \mu_0 n i \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{2} \quad \text{其中} \quad \cos \theta_1 = \frac{L}{\sqrt{L^2 + (D/2)^2}} = \frac{2L}{\sqrt{4L^2 + D^2}}$$

$$\because \theta_2 = \pi - \theta_1$$

$$\therefore B = \mu_0 n i \cos \theta_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$



圖一

今有一磁通量 ϕ 、長度 l 、截面積 A 的圓柱形小磁鐵，把此小磁棒放在螺線管中且與管中之磁場垂直，則螺線管內之均勻磁場 B 將施一力矩 $\tau_B = \frac{lB\phi}{\mu_0}$ 於小磁棒上使小磁棒旋轉。若小磁棒是繫在鋼絲上，當小磁棒轉 α 角時，鋼絲亦施一恢復力矩 $\tau_\kappa = \kappa \alpha$ 於小磁棒，其中 κ = 鋼絲的扭轉常數。當平衡時 $\tau_B = \tau_\kappa$ ，即 $\frac{lB\phi}{\mu_0} = \kappa \alpha$ 所以

$$B = \frac{\kappa \alpha \mu_0}{l \phi} \dots\dots\dots (4)$$

本實驗即利用鋼絲的恢復力矩求螺線管中之磁場。鋼絲之扭轉常數 κ 可如下述測得：設扭力平衡器之轉動慣量為 I ，則它受一恢復力矩作用時會來回振盪。振盪週期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \left(\frac{I}{\kappa}\right)^{1/2}$ ，即

$$\kappa = \frac{4\pi^2 I}{T^2} \dots\dots\dots (5)$$

故量出週期 T 及轉動慣量 I 即可求得 κ 。由於扭力平衡器之懸桿其轉動慣量很小，致使週期不易量出，如加入一根金屬棒於扭力平衡器之懸桿中，以增加轉動慣量方便測量週期。

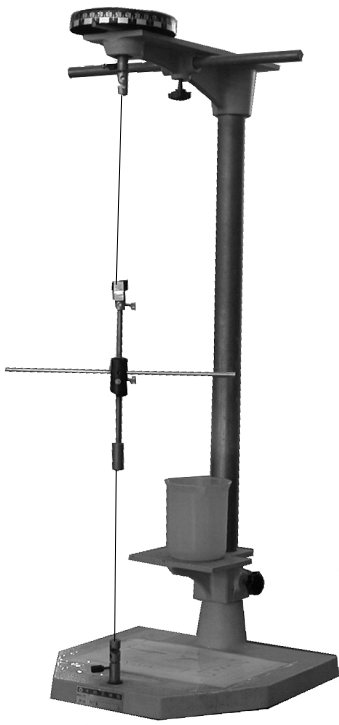
若鋼絲上的面鏡與橫尺間距離 d ，磁場 B 作用於小磁棒力矩 τ ，使鋼絲扭轉 α 位移，光點將在尺上產生位移 a ，若 α 很小，則 $\tau = \kappa \alpha \approx \kappa \cdot \frac{a}{2d}$ 代入(4)式，得

$$B = \frac{\mu_0 \kappa a}{2dl\phi} \dots\dots\dots (6)$$

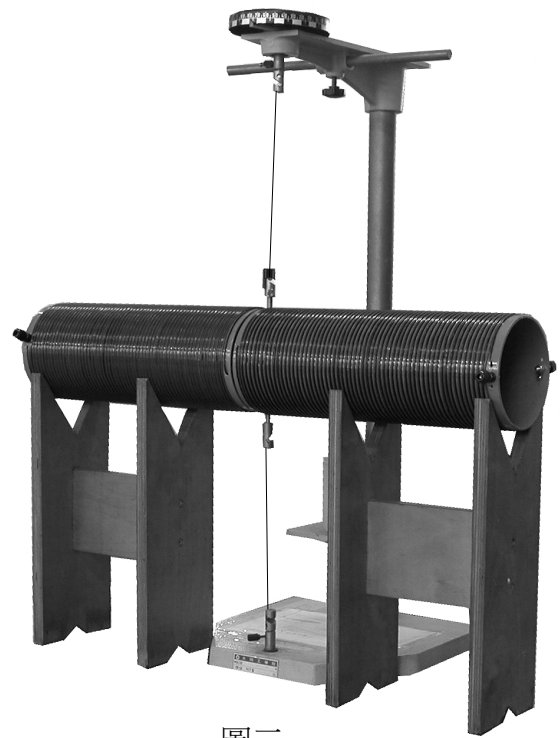
【4】步驟：

(A) 求扭力平衡器之扭轉常數 κ

- (1) 如圖二，取一長 $b=0.24\text{m}$ ，直徑 6mm ，質量 $m=0.057\text{kg}$ 的金屬棒插入扭力平衡器之懸桿內使兩邊等長，計算轉動慣量 $I = mb^2/12$ 。
- (2) 使此棒轉動一小角度，用碼錶量來回擺動30次之時間求週期 T 。重複二次求週期平均值，代入(5)式求 κ 。



圖二

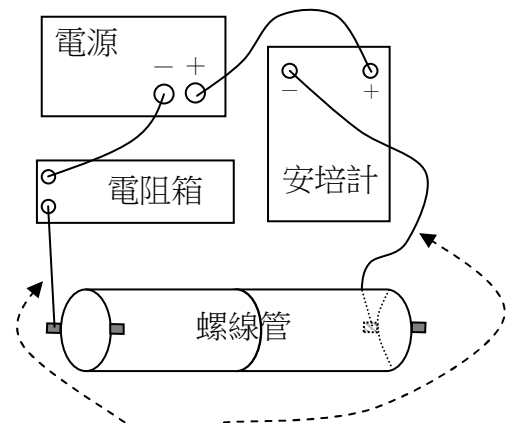


圖三

(B) 螺線管中之磁場

(B-a) 固定單位長度匝數，改變電流

- (1) 取出金屬棒，將小磁棒置於二鋼絲間之垂桿上之小孔內，使小磁棒與螺線管中心軸垂直，並鎖緊。
- (2) 置 No.1 之二螺線管於木架上，如圖三(注意：兩管須密接且要使垂桿能自由轉動不卡住)。
- (3) 安置橫尺於距離鏡面 $d \approx 1.5\text{m}$ 遠處，調整光源及鏡面使光線經鏡面反射後，光點落於橫尺中心附近，待光點不動後，記錄光點在橫尺上的刻度。
- (4) 如圖四接線，通電流於螺線管上之線圈，使螺線管內產生磁場。此磁場將施一力矩於小磁棒上，使小磁棒及面鏡偏轉，而使橫尺上的光點隨之移動。同時，鋼絲也產生回復力矩，最後達到一平衡位置。
- (5) 記錄安培計上的電流、橫尺上光點之偏向位移 a ，以(6)式算 B 之實驗值，與(3)式的 B 理論值求誤差。
- (6) 改變電流大小，再依上述步驟求 B 的實驗值和理論值。

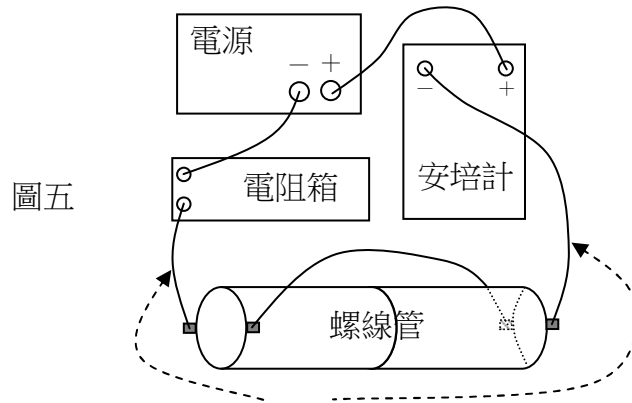


這兩條導線接在螺線管的同一側

圖四

(B-b) 固定電流，改變單位長度匝數

使用 No.1 螺線管，如圖五接線，電流固定在 0.1A，重複(a)之步驟，求不同匝數之 B 值及誤差%。



圖五

這兩條導線接在螺線管的對角兩側，再用另一條導線連接剩下的兩個對角插座。

(B-c) 固定電流及單位長度匝數，改變螺線管之直徑

改換 No.2 螺線管、木架上下翻轉，電流固定在 0.1A，同(a)之接線與步驟，記錄電流值，求不同直徑之 B 值及誤差%。

【5】記錄：如附表。

【6】問題：

- (1) 實驗時螺線管排成東西向的原因？則地磁的影響為何？
- (2) 做圖說明為何 α 很小時， $\alpha \approx \frac{a}{2d}$ 。
- (3) 求磁場 B 時，(3)式是(2)式之多少%？此%比值會因匝數不同而改變嗎？會因管徑不同而改變嗎？

【7】結果與討論：

【記錄】

(A) 扭力平衡器之扭轉係數 κ

懸桿長 $b=0.24\text{m}$ ，質量 $m=0.057\text{kg}$ ， $I = mb^2/12 = \underline{\hspace{2cm}} \text{kg} \cdot \text{m}^2$

	1	2	3	平均
$T(\text{sec})$				

平均 κ 值
= $\underline{\hspace{2cm}} \text{N} \cdot \text{m} / \text{rad}$

(B) 螺線管中之磁場

(B-a) No.1 螺線管 $n = N/L = \underline{\hspace{2cm}}$ 匝 / 米，小磁棒長 $l = 2.5 \text{ cm}$

小磁棒磁通量 $\varphi = \underline{\hspace{2cm}} \text{T} \cdot \text{m}^2$ ，橫尺與鏡面距離 $d = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$

i (A)	a (m)	$B(\text{T})$ 實驗值	$B(\text{T})$ (2)式	$B(\text{T})$ (3)式	與(3)式誤差
0.1					
0.2					
0.3					

(B-b) $i = 0.1$ 安培 (No.1 螺線管)， $d = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$

n (turns/m)	a (m)	B 實驗值(T)	$B(3)$ 式(T)	誤差 %
200				
400				

(B-c) $n = 200$ turns/m， $i = 0.1$ 安培， $d = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$

螺線管	管徑 $D(\text{m})$	a (m)	B 實驗值(T)	$B(3)$ 式(T)	誤差 %
No.1	0.12				
No.2	0.07				

管徑粗細與實驗誤差有關嗎？粗管比較準確？還是細管比較準確？

