

# 螺管線圈軸心方向磁場的探討

國中組物理科第一名

台北縣中和國民中學

作者：陳紋燕、吳佩芬  
吳思瑩、張語潔

指導教師：林冠宏



## 一、研究動機

小學時做過一個實驗，把漆包線繞在鐵釘外成螺旋狀，若通以直流電，則螺內會產生一個磁場，把原先沒有磁性的鐵釘變成一個小磁鐵。像這樣通以直流電，便得以產生磁場的螺管線圈，我們很感興趣，因此想設計一個實驗，來探究那些因素會影響螺管線圈的磁場大小。

## 二、研究目的

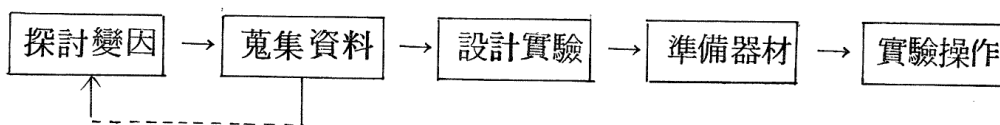
探究影響螺管線圈軸心上磁場的因素，以及軸心上磁場強度與這些因素的可能關係式。

## 三、研究設備器材

直流電源供應器×1、電流計（500mA）×1、電阻器×1、導線×6、各種規格螺管線圈×15、指南針×1、反射鏡平台×1、螺線管基座×1、手電筒或檯燈×1、直尺（30cm）×2。

## 四、研究過程

整個研究流程如下：



### (一) 探討變因

影響螺管線圈所造成磁場的因素，我們認為可能有下列幾個：

1. 外加電流大小。
2. 線圈的疏密。
3. 螺線管的長度。
4. 螺線管的口徑。
5. 所纏繞之漆包線粗細。
6. 線圈的層數。
7. 管子的材料。

### (二) 蒐集資料

雖然我們歸納出有可能的變因，但是對於螺管線圈所產生的磁場性質，尚不是很清楚。經指導後，我們從國中理化第四冊廿七章介紹有關電流產生磁場，以及螺管線圈的磁場分佈情形，加上一般參考書中的補充資料，我們歸納出下列幾點，我們可能用得到的結論：

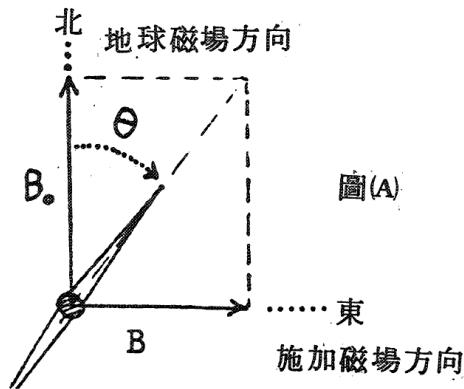
1. 可用指南針測量磁場的方向。
2. 螺線管內部的磁場方向是單一的，為平行軸心方向，此方向可根據電流流向用右手定則判斷之。
3. 螺線管外部的磁場方向會隨位置不同而有所變化。
4. 磁場的大小可用高斯計測定。
5. 地球是個大磁鐵，對某處而言，其磁場方向、大小是固定的。

### (三) 設計實驗

#### 1. 如何測得磁場的大小？

在設計實驗時，我們首先遇到的困難是如何來測量磁場大小。在參考資料中，我們得知有一種可以用來測量磁場大小的儀器—高斯計，但是經查詢後，得知這是一種價格不菲，較精密的儀器，學校裡並沒有。後來經過大家的研究，我想出了一種方法來替代，即利用指南針的偏轉情形可代表磁場的大小。

我們實驗的目的，只是想知道到底那些變因變化時，對磁場大小的影響是如何，並不需要知道磁場的絕對大小。因此只要有一種量，可以來代表磁場大小即可。詳細的方法如下：



當我們把指南針平置桌上，此時針受地球磁場的影響，指向南北向，因為地球磁場大小是固定的，假設它為  $B_0$ ，如此，若在東西向施一外加磁場，則指針會產生偏轉，而且，此磁場愈大，偏轉的角度也愈大。如圖(A)所示，我們假設外加東西向磁場的大小為  $B$ ，此時磁針的偏轉角度為  $\theta$ ，則  $B$  與  $B_0$  有下列的數學關係式

$$\frac{B}{B_0} = \tan \theta \rightarrow B = B_0 \cdot \tan \theta$$

因為  $B_0$  為常數，所以外加磁場  $B$  正比於  $\tan \theta$ ，亦即  $B \propto \tan \theta$ 。

如此我們只需量取指針偏轉角度  $\theta$  值，再經  $\tan \theta$  的換算，便可用  $\tan \theta$  值的大小來表示外加磁場的大小了。

### 2. 測量位置必須固定在螺管的何處呢？

我們實驗時一次只能探討一個變因，對於其他的變因必須控制住，所以測量的位置也必須控制好，至於測量位置到底固定在螺管的何處較恰當呢？

根據推論，得知若要能以  $\tan \theta$  值替代磁場的大小，此時外加磁場  $B$  必須是單一方向（東西向）不會因大小的變化而方向有所改變，根據資料，螺線管內部以及軸心處的磁場具有如此特性，此處的磁場方向為平行軸心方向，只需把軸心指向東西向便可滿足要求，因此我們對螺線管磁場的測量，便決定在螺線管的軸心上進行。至於測針放置於軸心的何處，我們定在管中點處。為何有如此的考量，乃是在測得磁場強度一位置的關係圖形後的決定，詳細原由見六討論(一)。

### 3. 需要那些規格的螺管線圈呢？

在(一)中，討論過影響螺管磁場大小的因素可能有 7 個，但是限於時間以及器材製作上的問題，決定只討論前 5 個，對於第 6（層數）第 7（管子的材料）暫不在此中討論，但這兩個因素在實驗中仍必須控制住。亦

即所有螺管線圈中的層數與管子材質都應相同。我們決定層數都是單層，管子的料質，則以非鐵、非金屬的塑膠管與保特瓶，至於探討其他變因，所需的螺管線圈規格數可分成四族：

I 不同的疏密度  $N$ ：# 1、# 2、# 3、# 4 ( $N = 3 \sim 10$  圈/公分)

。

II 不同的螺管長  $L$ ：# 6、# 7、# 8、# 9、# 10、# 11 ( $L = 4 \sim 16$  公分)。

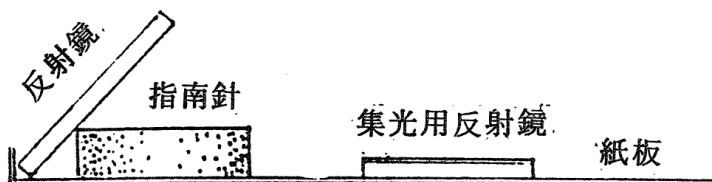
III 不同的管直徑  $D$ ：# 11、# 12、# 13、# 14、# 15 ( $D = 7 \sim 13$  公分)。

IV 不同的線直徑  $a$ ：# 1、# 5 ( $a = 1.0, 0.75$  mm)

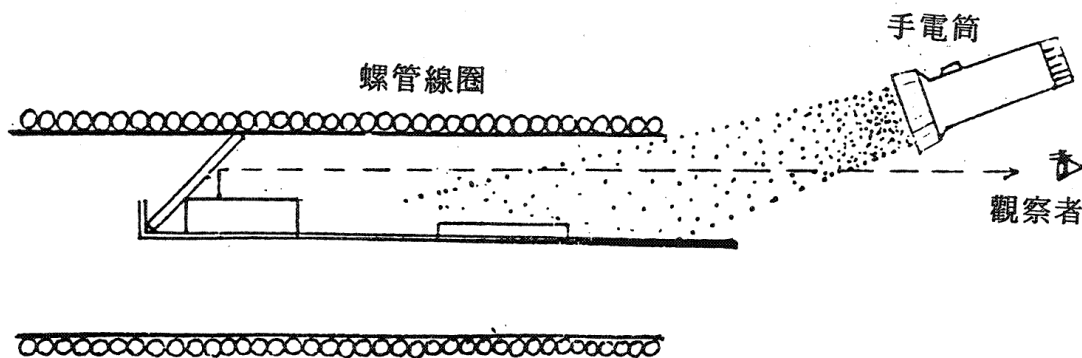
#### ④準備器材：

在器材部份大都可從學校實驗室取得，但是有兩個部分卻是要自己製作，一是各種規格的螺線圈製作，另一是指南針測量器，必須一提是指針測量器。

在實驗中必須把指南針置入螺管中量取角度，因此無法由外直接觀察到刻度，因此我們製造了一個裝有反射鏡的平台（如圖 B）。把此裝置放入螺管中時便可藉由鏡面的反射而觀得指針的角度（如圖 C）。



圖(B)



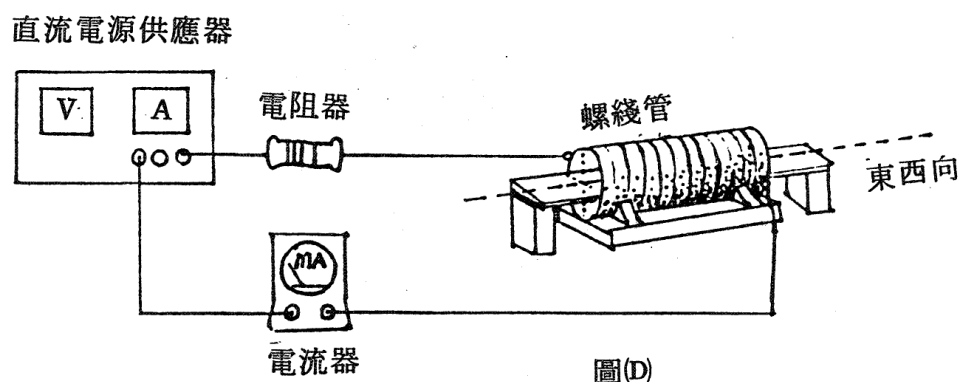
圖(C)

圖B中集光用反射鏡，是用來反射管外手電筒的光線，增加管內的明亮程度，以利於觀察。

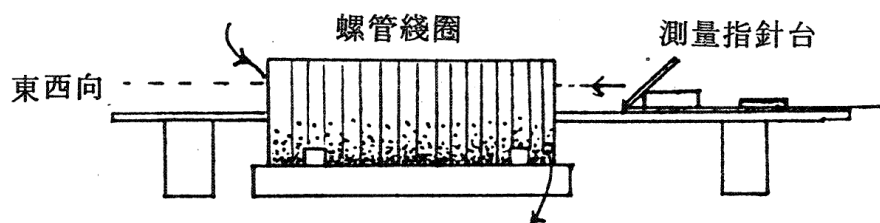
(四)實驗操作：

1.裝接線路再歸位：

線路裝接如圖(D)後，利用指南針與直尺，使螺管線圈的軸向恆指著東西向。歸位後，用膠帶把螺管、基座皆固定於桌面上，以防止其再移動。若實驗過程中有所碰撞而位置變動，需再重新歸位。



圖(D)



圖(E)

2.磁場強度B在軸心上的變化：

- ㄅ. 如圖E，觀測移動的軌跡。
- ㄆ. 打開電源供應器，控制電流  $I = 100 \text{ mA}$ 。記錄指針所在位置X及所顯示的偏轉角度 $\theta$ 。
- ㄇ. 前進指南位置，重複ㄆ，直至指針移管子另一端出口外。
- ㄏ. 把 $\theta$ 代入  $\tan \theta$  換算做  $B (\tan \theta) - \times$  (位置) 圖
- ㄏ. 更換管子重複ㄅ~ㄏ。

3.磁場強度B與外加電流I之關係：

- ㄅ. 把觀測器置入管子的中點軸心上，並且使指針的指向歸位在南北刻度上。

ㄨ. 打開電源供應器，記錄電流大小  $I$  及指針偏轉角度  $\theta$ 。

□. 加大電流，重複ㄨ直到做出 8 ~ 10 組數據。

□. 把  $\theta$  代入  $\tan \theta$  換算，做  $B(\tan \theta) - I$  圖。

ㄨ. 更換管子，重複ㄨ ~ □。

#### 4. 磁場強度 $B$ 與線圈疏密度的關係：

ㄨ. 以 # 1 管， $I$  分別定在 100 mA，60 mA 做法同 3：ㄨ、ㄨ。

ㄨ. 以第 I 族的其他管子（# 2、# 3、# 4）替代 # 1，重複ㄨ。

□.  $\theta$  轉換成  $\tan \theta$  值，並查看各管的疏密度  $n$  做  $B(\tan \theta) - n$  圖。

#### 5. 磁場強度 $B$ 與螺管長度 $L$ 之關係：

ㄨ. 以第 II 族管的 # 11 電流分別固定在 30 mA、60 mA、80 mA、100 mA。做法同 3：ㄨ、ㄨ。

ㄨ. 以第 II 族其他管子（# 6 ~ # 10）替代 # 11，重複ㄨ。

□.  $\theta$  轉換成  $\tan \theta$  值，查看各管之管長  $L$ ，做  $B(\tan \theta) - L$  圖。

#### 6. 磁場強度 $B$ 與螺管直徑 $D$ 之關係：

ㄨ. 以 III 族管的 # 15 電流分別固定在 50 mA、70 mA、100 mA、120 mA，做法同 3：ㄨ、ㄨ。

ㄨ. 以第 III 族其他管（# 11 ~ # 14）替代 # 15 重複ㄨ。

□.  $\theta$  換成  $\tan \theta$  值，查看各管的  $D$  值，做  $B(\tan \theta) - D$  圖。

#### 7. 漆包線粗細對磁場強度的影響：

ㄨ. 以第 IV 族（# 1、# 5）螺線不同粗細的管子做法同 2、3，分別做出  $B - X$ 、 $B - I$  的關係圖。

ㄨ. 由 # 1、# 5 的  $B - X$ 、 $B - I$  圖，比較其 # 1 與 # 5 的差異。

## 五、研究結果

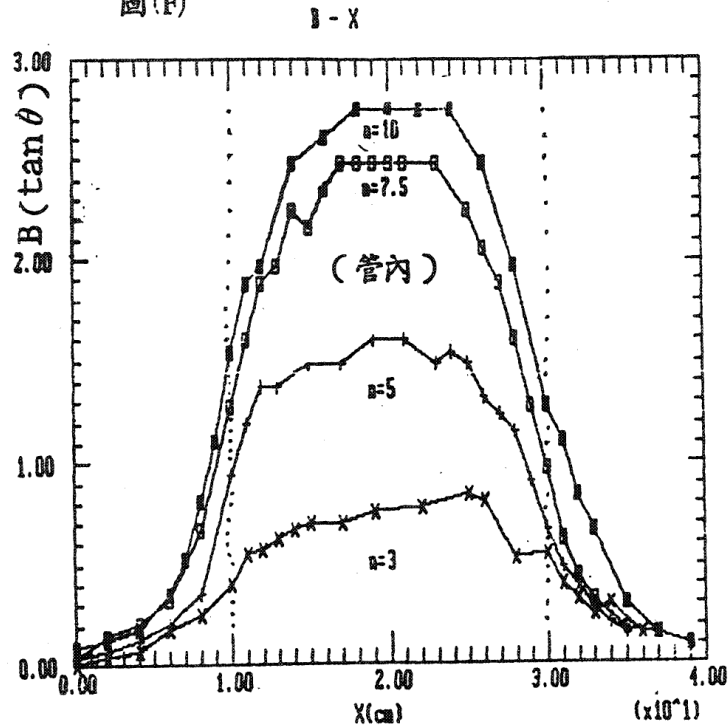
(一) 數據：略

(二) 圖形：見六，分析討論（圖(F)、圖(L)）

## 六、分析討論

(一) 磁場大小  $B$  隨位置  $X$  變化的情形：（圖： $B - X$ ）

圖(F)



由圖(F)：B - X的關係圖，可以得到下列三點結論：

1. 軸心處的磁場以管內中心處最大，愈往外側，磁場漸漸減小，在靠近管口附近，磁場遞減的情形最明顯。
2. 管中央附近磁場最大，而且不會隨位置有所變化，表示管中央（間）處是種均強的磁場。因此在稍後的實驗中，把測針皆置于管內中間，便是基於這種考量。因為即使測針位置稍有誤差，沒有在正中間由於附近磁場均強，測得角度不會有大誤差。
3. 圖(F)中是四個不同疏密度線圈的B - X圖。顯然，管內磁場，因線圈結構不同而有所明顯變化。反觀管外之磁場，受線圈影響較弱、磁場較小，線圈結構不同時，由磁場顯示出來的變化也不明顯。此是後來的步驟中，測針皆置于管內，而非管外的第二個原因。

由圖(F)中，可發現另一個現象，就是有些管子的B - X圖在管內存在著高低起伏的現象，而且疏密度愈低此種現象愈明顯。其可能原因是：因為螺線管是手工繞製的，因此整個管子的疏密情況可能不是理想的均勻，而有疏密不勻的情形產生。因此，當測針在靠近密部時，測值便會偏大。同理；在測到疏部時便有偏小情形，以致造成圖中的高低起伏。對於疏密度較大的管子，在製造上較不會有疏密不均之現象。再加上因其磁場本來就較大，疏密度不勻引起的偏差就較不明顯了。因此在後來螺管的規格上，在控制變因時疏密度盡可能密些。

(二)磁場大小  $B$  與電流  $I$  的關係：(圖(G))

圖(G)是不同疏密程度的螺管線圈之  $B - I$  關係圖。由圖中可明顯看出：

1. 當線圈上通過的電流愈大，線圈所產生的磁場也愈強。
2. 磁場強度  $B$  與電流  $I$  的關係圖形是通過原點的直線亦即  $B$  與  $I$  之間是一次正比的關係。用數學式表示即： $B \propto I$ 。

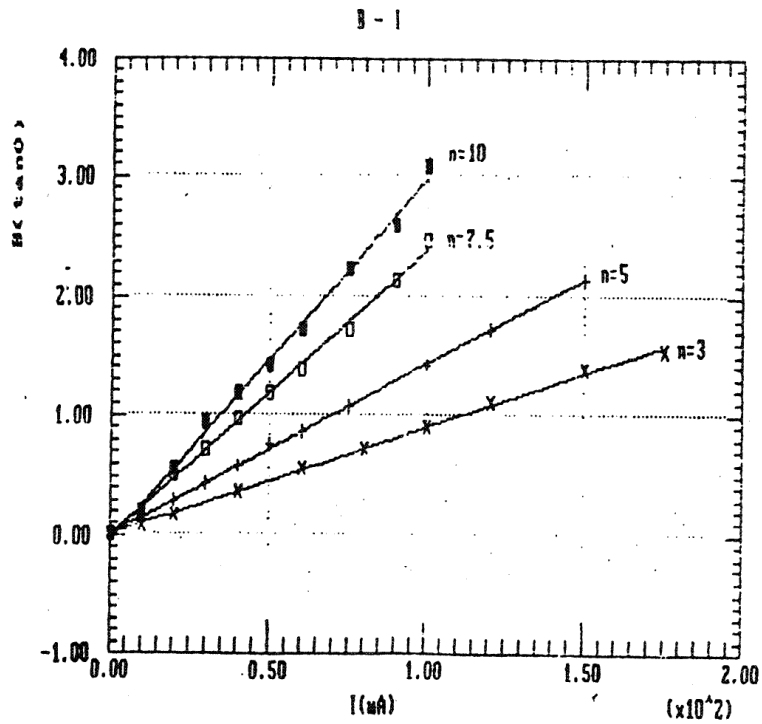


圖 (G)

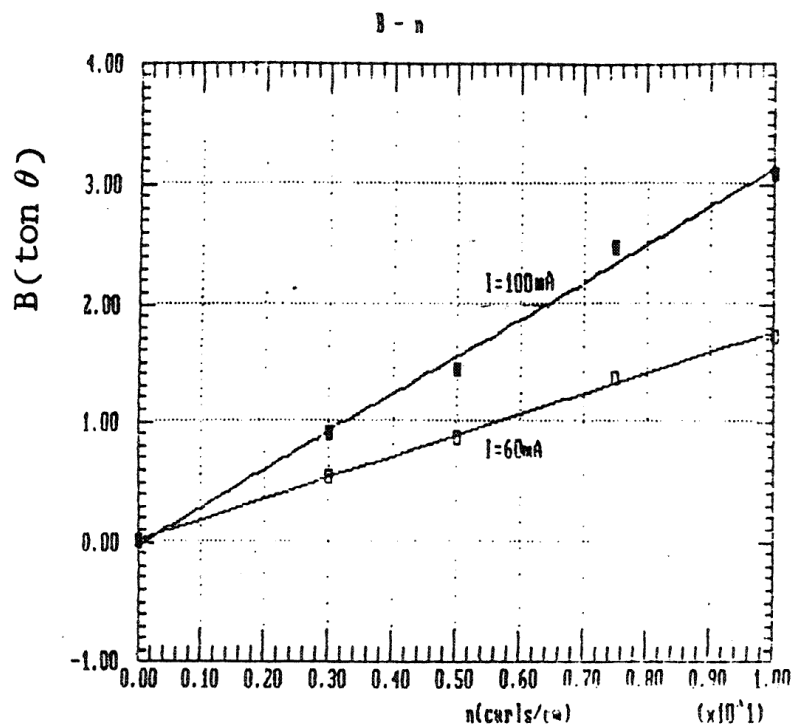


圖 (H)



(三)磁場大小  $B$  與線圈密度  $N$  的關係：(圖 III)

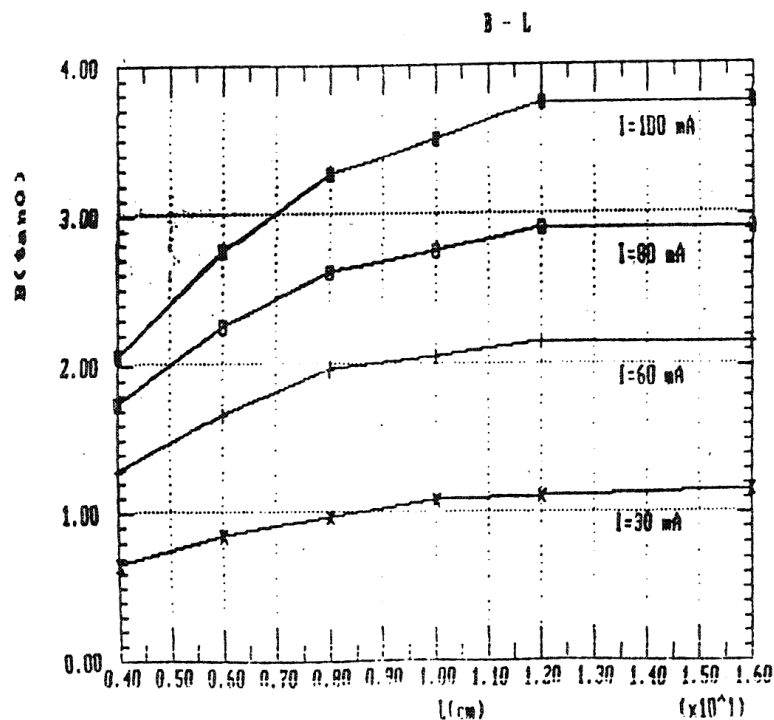
圖 III 是在兩種不同電流下，磁場強度  $B$  與線圈疏密度  $N$  的關係圖。其中疏密度是指單位長度內的圈數、單位是：圈/公分。由圖形中可以明顯看出：

1. 線圈的密度愈密 ( $N$  值愈大)，則產生的磁場愈強。
2. 磁場強度  $B$  與密度  $N$  的關係圖形為過原點的直線，亦即  $B$  與  $N$  為一次正比的關係，可用數學式表為  $B \propto N$ 。

(四)磁場大小  $B$  與螺管線圈管長  $L$  之關係：(圖 I)

圖 I 是在各種不同電流下，磁場強度  $B$  與螺管長度  $L$  的關係圖形，由圖形中我們可以看出：

1. 螺管的長度愈長 (指在相同密度下) 則線圈所產生的磁場將愈強。
2. 磁場的強度並不會隨線圈長度增長後，無限制地變大，由圖中可看到在  $L$  較短時，長度對磁場的影響效應較大，但長度漸長，對磁場的影響效應也漸次減弱，(坡度變化漸緩)，甚至到後來即使長度再長，對磁場強度的影響，在我們所能偵測的精確度內，也看不出有何變化了。
3. 因為圖形不是單純的關係圖形，只知  $L$  對  $B$  有影響卻無法決定出關係式。



圖(I)

(五)磁場大小B與螺管直徑D的關係：(圖J)

圖(J)是各種不同電流下，電場強度B與線圈直徑D的關係圖形，由圖形中可以看出：

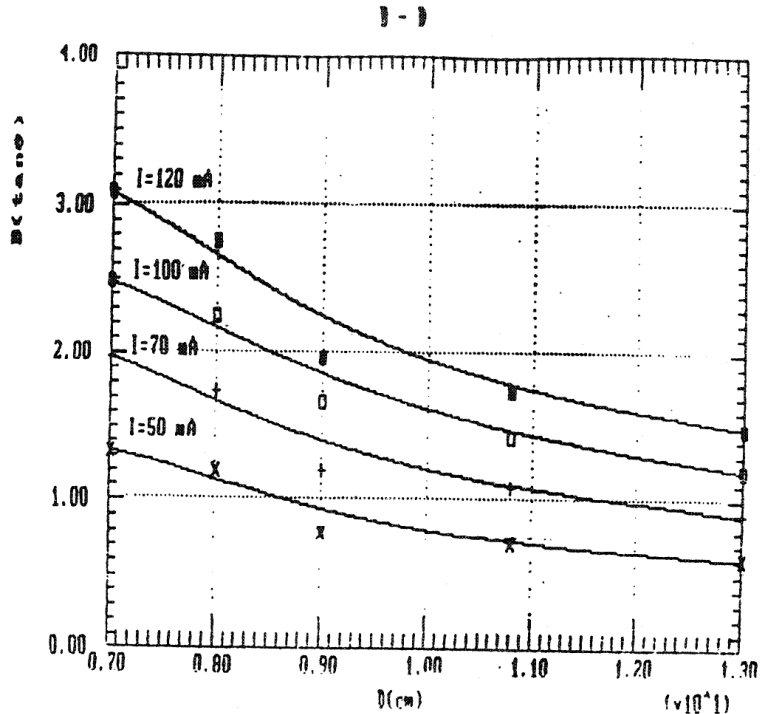


圖 (J)

- 1.線圈的直徑若是愈大，則產生的磁場愈小。
- 2.至於磁場強度B與直徑D是什麼樣的關係式，就沒有辦法預測了。曾經以  $B - 1/D$  的圖形來分析，但所得結果亦非簡單的直線關係，因此  $B - D$  的關係式亦非簡單的反比關係，無法由圖形中預測出來。

(六)磁場大小與螺管線圈之線粗細的關係：

我們比較了以不同粗細的漆包線所纏繞出相同密度、長度、口徑的螺線圈之B-X、B-I圖(圖K、圖L)。發現到在這兩個形中，雖然線的粗細不同但是它們的關係圖形幾乎重疊在一起，顯示了：漆包線的粗細對磁場的大小，幾乎不會有影響。

B - X for 81885

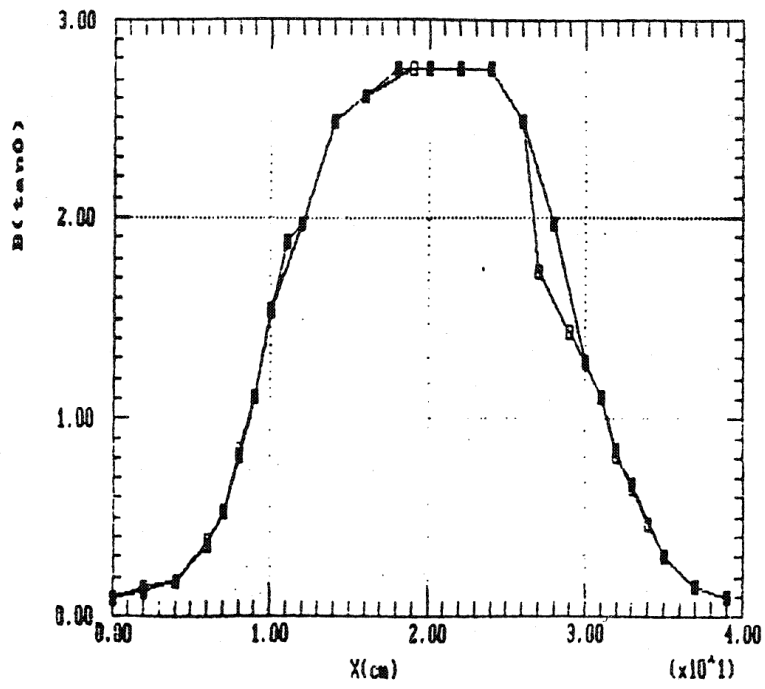


圖 (K)

B - I for 81885

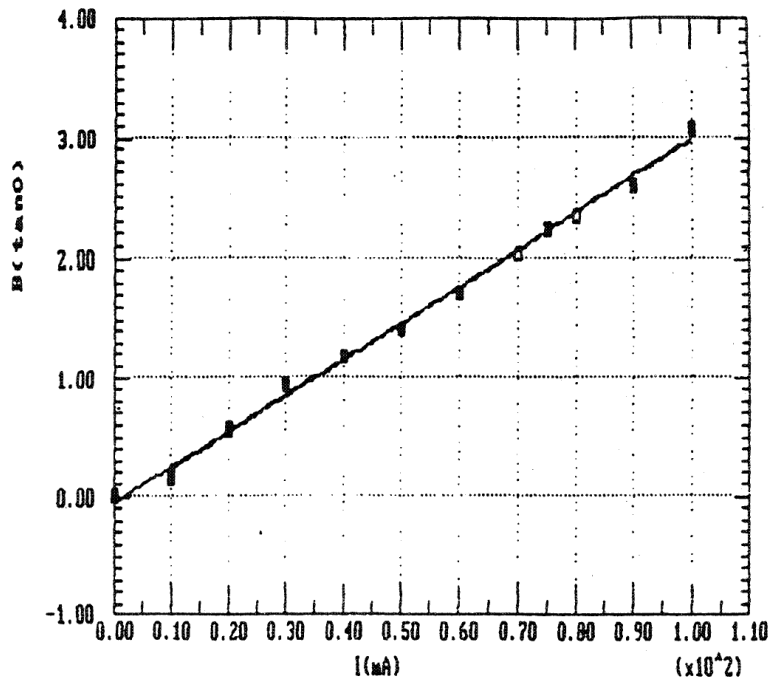


圖 (L)

## 七、結論

綜合六的分析討論，歸納出下列幾點結果：

- (一)螺管線圈內部中央附近的磁場最大且均強。
- (二)線圈通過的電流  $I$  愈大，產生的磁場  $B$  愈強，且  $B$  正比於  $I$  ( $B \propto I$ )。
- (三)線圈纏繞的密度  $N$  愈密，產生的磁場  $B$  愈強，且  $B$  正比於  $N$ 。 ( $B \propto N$ )
- (四)同密度下管長  $L$  愈長的線圈，產生的磁場愈強。且管長愈長，對增大磁場的效應愈不明顯。
- (五)螺管口徑  $D$  愈大，產生的磁場則愈小。
- (六)螺線圈線的粗細與產生的磁場間並無關係。

根據這些結果，可以為此次報告作出兩點總結：

### 1. 定性方面：

若想以螺線管線圈製造一個較大的磁場，則螺管線圈的密度愈大，長度愈長，管徑愈小，通過的電流愈大，愈靠近管內中央的地方，所得的效果愈好。

### 2. 定量方面：

軸心上磁場強度的關係式：

$$B = I \cdot N \cdot f(L, D)$$

其中  $B$ ：磁場強度  $I$ ：電流強度， $N$ ：單位長度內的線圈圈數。

$L$ ：螺管長度  $D$ ：螺管口徑。

$f(L, D)$ ：指由  $L, D$  所組成的函數，當  $L \rightarrow$  大，則  $f$  值  $\rightarrow$  大當  $D \rightarrow$  大，則  $f$  值  $\rightarrow$  小。

## 八、參考資料

- (一)國中理化第四冊
- (二)小小科學家
- (三)高中基礎理化
- (四)高中物理第三冊

## 評語

- 1.有明確的研究對象，測量線圈中心的磁場，並探討其與線圈幾何尺寸的關係。
- 2.能充分掌握變因做實驗，獲得完整的數據，從諸多的變因中，逐一探討，得到  $B \sim I \cdot N \cdot f(L, D)$  的關係式，可說整件作品已具近乎正確的科學研究的模式。
- 3.在實驗的過程中有部分超出國中的程度（例如三角函數等）但作者富有進取心，現場解說清楚，充分顯示對研究問題頗為瞭解。