

## 實驗三 螺線管與 U 型磁鐵磁場強度之量測

### 一、實驗內容

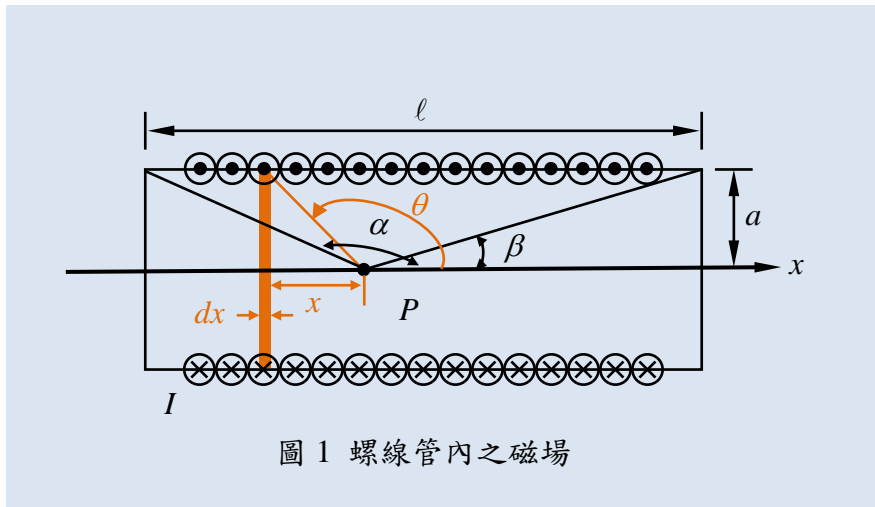
用高斯計量測螺線管與 U 型磁鐵磁場強度分佈。

### 二、實驗器材 (請參考附錄 I、II)

名稱	數量	名稱	數量	名稱	數量
直流電源 (insTEK)	1	U 形磁鐵組合	1	螺線管組合	2
直流電源 (LH)	1	高斯計(高、低固定架)	1	游標尺	1

### 三、理論

#### 1. 螺線管內之磁場



#### (1) 有限長螺線管內磁場強度

一長度為  $l$ ，半徑為  $a$  之螺線管繞有  $N$  匝之線圈，如圖 1 所示，若  $n$  為每單位長度之匝數 ( $n = \frac{N}{l}$ )，則線元素  $dx$  所包含之電流數為  $nI dx$ ，這些電流對軸心上  $P$  點所產生的磁場  $dB$  為

$$dB = \frac{I\mu_0 a^2 n dx}{2(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

利用  $x = a \cdot \cot(\pi - \theta)$  則  $dB$  可表為

$$dB = \frac{\mu_0 n I}{2} \sin\theta d\theta$$

於是管內  $P$  點之磁場為

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 n I}{2} \int_{\beta}^{\alpha} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos\beta - \cos\alpha)$$

## (2) 無限長螺線管內磁場強度

當螺線管為無限長時， $\beta = 0$ ， $\alpha = \pi$ ，於是管內磁場成為

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos 0 - \cos \pi) = \mu_0 n I$$

為一均勻磁場。

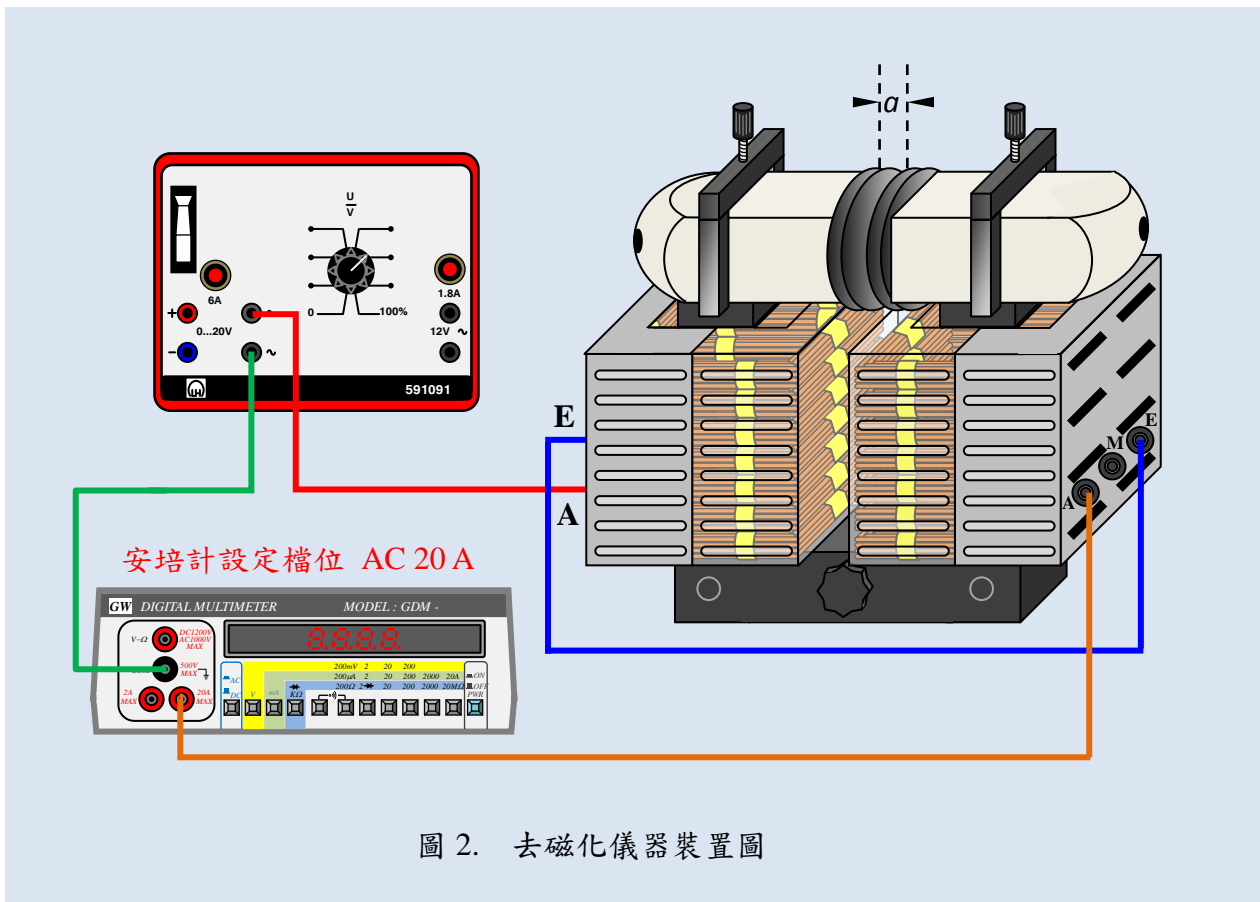
註：一般所使用之磁場單位為 G (Gauss)， $1 \text{ T (Tesla)} = 10^4 \text{ G}$ 。

## 四、實驗步驟

### 1. 去磁

- (1) 如圖 2 所示，將柱狀鐵心間隙調整為 4 mm 再接線，安培計設定檔位 AC 20 A。
- (2) 請老師檢查線路無誤後，開啟 LH 電源供應器之電源，旋轉輸出調整鈕使輸出電流為 AC 5A，持續 30 秒後慢慢地將電流減少至 0，完成去磁。

註：每次變換不同  $a$  值或要進行新的量測前，請先完成去磁。



### 2. U 型磁鐵間 $B$ 場大小之量測

#### (1) 不具圓盤之柱狀鐵心

- (a) 參考附錄 II 高斯計簡易操作步驟，將橫向高斯計探棒歸零。

註：橫向高斯計探棒其感應元件位置距探棒前端約 1 mm。

- (b) 參考圖 3 所示將儀器架設完成，接好線路，電源供應器電壓、電源輸出粗調旋鈕

逆時針旋轉到底，高/低電流輸出選擇鈕置於“HI”，請老師檢查線路無誤後，開啟電源，變化電源供應器之輸出電流  $I$  如表 1 所列，量測磁場  $B$  之大小，完成表 1。(電流大於 5 A 後請於 5 分鐘內完成實驗量測)。

(c) 變化柱狀鐵心間隙如表 1 所列，重複步驟(b)，完成表 1。

註：改變間隙時，請將電源供應器電壓、電源輸出粗調旋鈕逆時針旋轉到底。

(d) (磁場電流 3 A) 鐵心間隔 4 mm，探棒由鐵心最下緣往上，每隔 1 公分測磁場。

## (2) 具圓盤之柱狀鐵心

(a) 將圓盤固定於柱狀鐵心上，於如圖 4 所示，將線路連接好。請老師檢查線路無誤後，重複步驟 (1)，完成表 2。

## 3. 螺線管內 $B$ 場大小量測：

(1) 將軸向高斯計歸零：與橫向高斯計探棒操作步驟相同。

註：軸向高斯計探棒其感應元件位置距探棒前端約 0.25 mm。

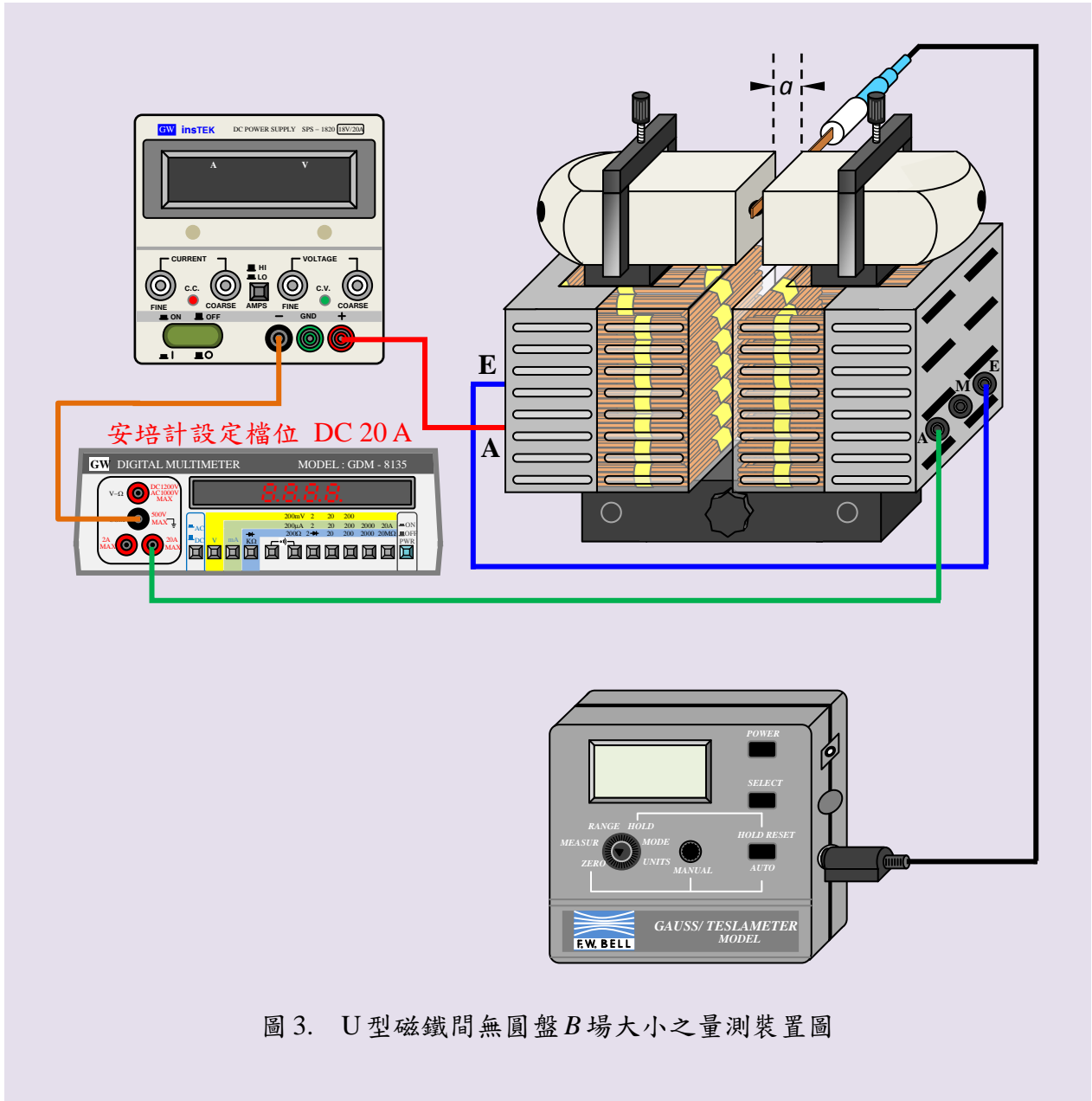
(2) 參考圖 5 所示將儀器架設完成，電源供應器電壓、電源輸出粗調旋鈕逆時針旋轉到底，將線路連接好。(註：要測試螺線管(各色線)端點的導通性)

(3) 請老師檢查確定無誤後，使電流  $I$  為 5 A，計算螺線管(粗管)線圈單位長度之匝數為 \_\_\_\_\_，以管中心位置為 0，完成表 3 實驗。

(4) 以高斯計測試棒穿進孔穴，到達軸中心點，測量  $B$  為 \_\_\_\_\_ ( $I$  亦為 5A)。

(5) 線圈外磁場為 0 之位置 \_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_。

(6) 將螺線管(粗管)換成細管，重複步驟 (2)~(4)，完成表 4 實驗。(細管 1 組有 2 支(每支單獨運作可，作為組合則要選擇 1A1B(有貼標籤)，否則會不導通)，紅黑色端點代表不同的圈數)



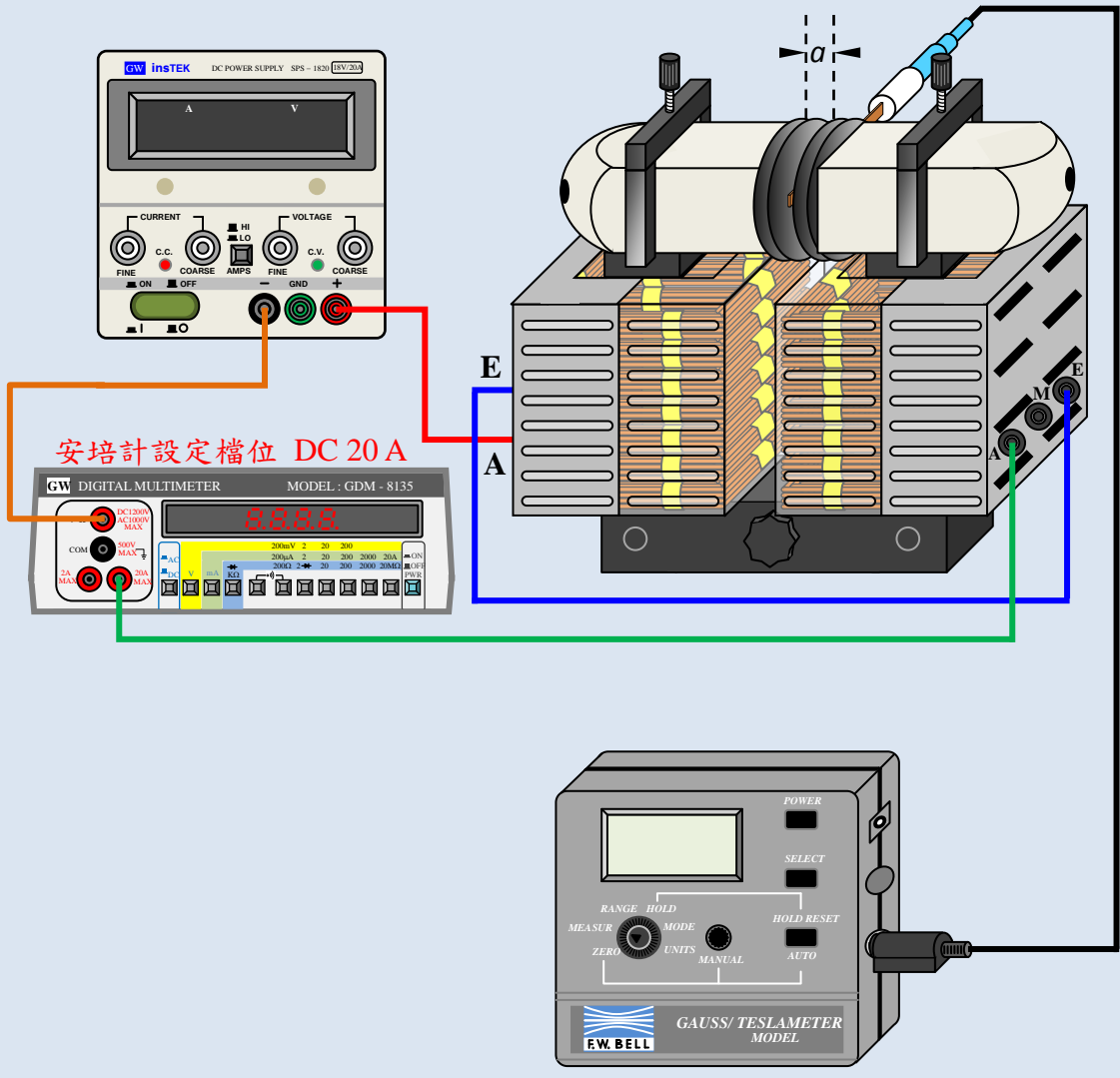


圖 4. U 型磁鐵間有圓盤  $B$  場大小之量測裝置圖

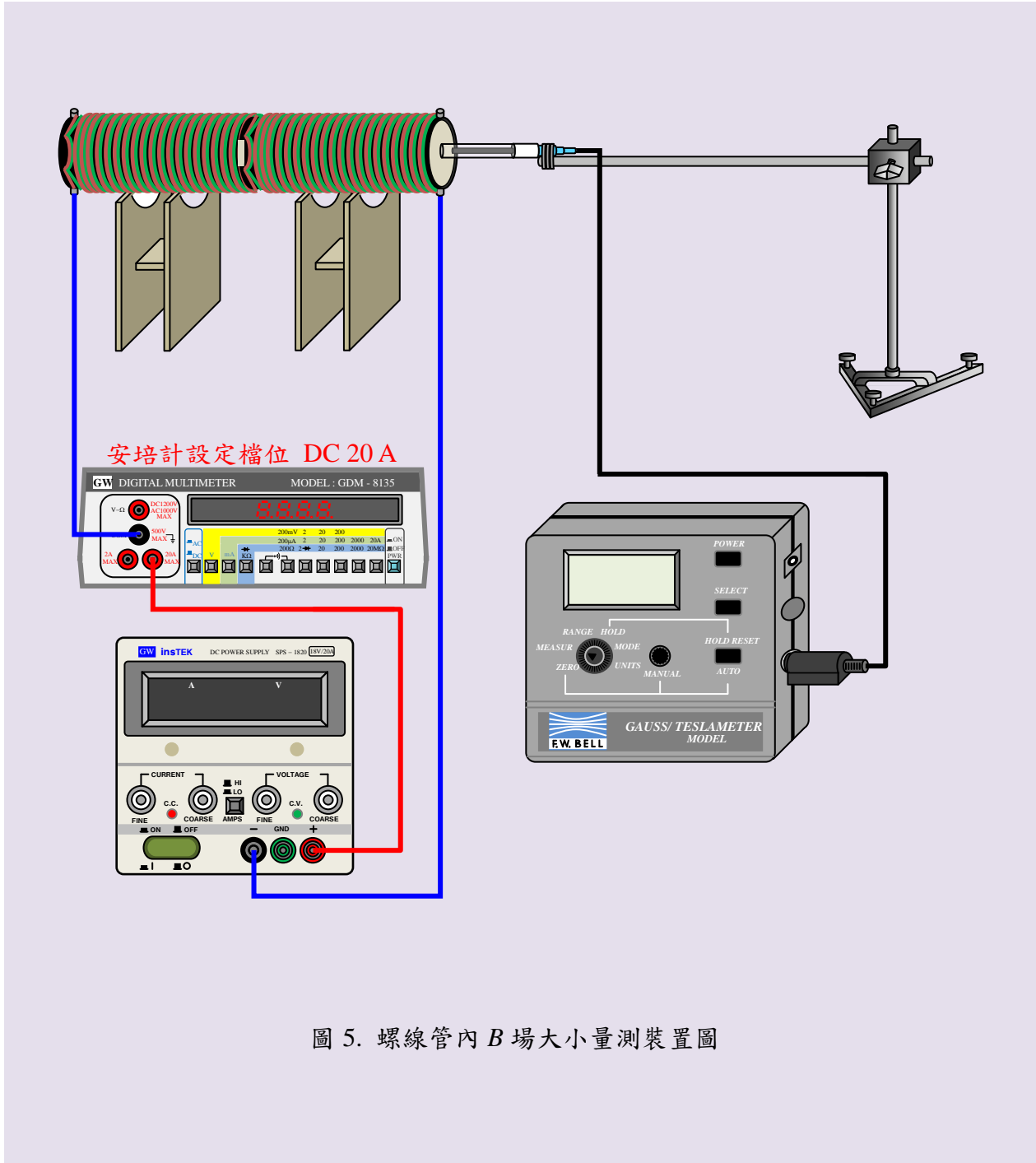


圖 5. 螺線管內  $B$  場大小量測裝置圖

### 實驗三 螺線管與 U 型磁鐵磁場強度之量測

組別：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 同組同學姓名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_ 教師簽署：\_\_\_\_\_

#### 實驗記錄

#### (一) U 型磁鐵間 B 場大小之量測

表 1. U 型磁鐵間不具圓盤之柱狀鐵心 B 場大小 ( [a,b] 表只要介於 a 與 b 之間即可 )

$I$ (A) $B$ (T) $a$ (mm)	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	[4,5]	[5,6]	[6,7]	[7,7.5]	[7.5,8]	[8,8.5]	[8.5,9]	[9,9.5]
4												
8												
12												
16												
20												

$a=4\text{ mm}$ ,  $I=3\text{ A}$ , 記錄探棒由下往上的磁場大小(ex:0 cm= , 1 cm= ,...)

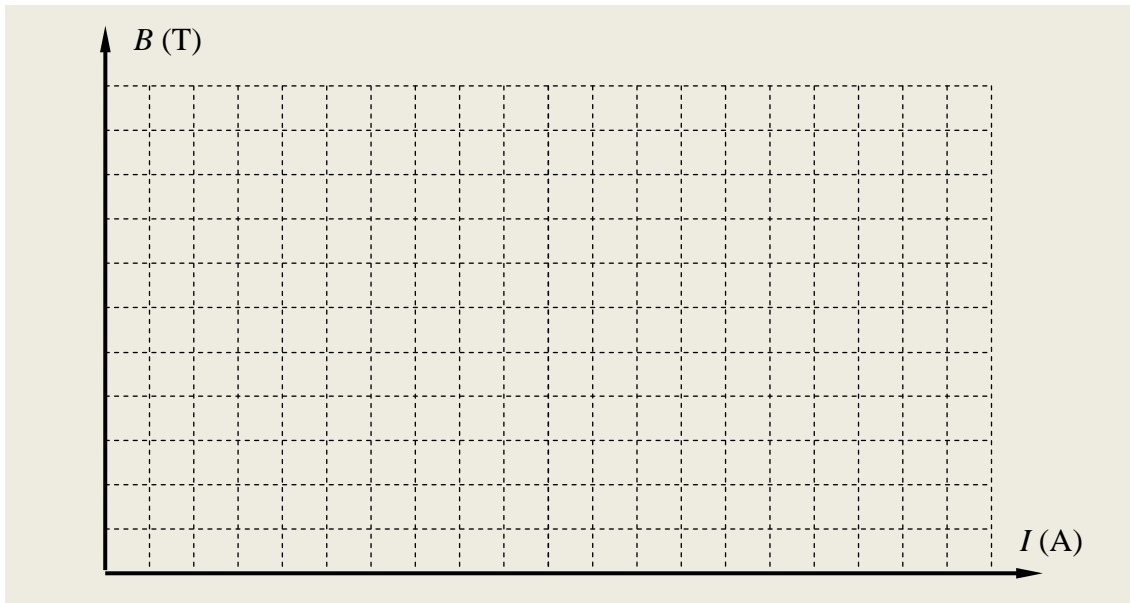
表 2. U 型磁鐵具圓盤之柱狀鐵心間 B 場大小 ( [a,b] 表只要介於 a 與 b 之間即可 )

$I$ (A) $B$ (T) $a$ (mm)	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	[4,5]	[5,6]	[6,7]	[7,7.5]	[7.5,8]	[8,8.5]	[8.5,9]	[9,9.5]
4												
8												
12												
16												
20												

$a=4\text{ mm}$ ,  $I=3\text{ A}$ , 記錄探棒由下往上的磁場大小(ex:0 cm= , 1 cm= ,...)



3. 繪出不同  $a$  值之  $B-I$  圖



### 問題

1. 解釋  $B-I$  圖曲線發生之原因。
2. 圓盤對實驗結果（改變間隔及磁場縱向分佈）有無影響？試述你的理由。

(二) 螺線管內 B 場大小量測

表 3. 螺線管 (粗管)內 B 場

$x(\text{cm})$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
實驗值																						
理論值																						
誤差																						

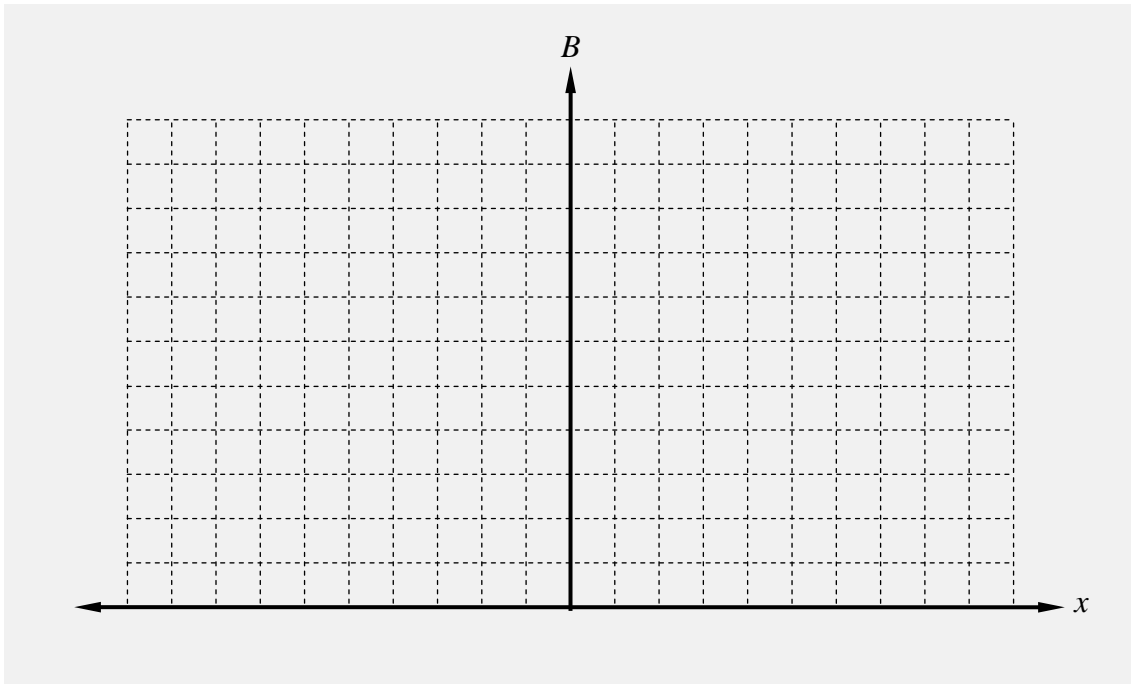
1. 線圈單位長度之匝數為 \_\_\_\_\_。
2. 以高斯計測試軸中心點  $B$  為 \_\_\_\_\_，與上表  $x=0$  處之數據比較。
3. 線圈外磁場為 0 之位置 \_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_。

表 4. 螺線管 (細管)內 B 場

$x(\text{cm})$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
實驗值																						
理論值																						
誤差																						

1. 線圈單位長度之匝數為 \_\_\_\_\_。
2. 以高斯計測試軸中心點  $B$  為 \_\_\_\_\_，與上表  $x=0$  處之數據比較。
3. 線圈外磁場為 0 之位置 \_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_。

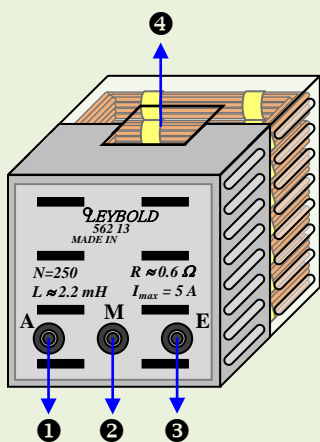
4. 做粗管與細管之  $B$ - $x$  圖



問題

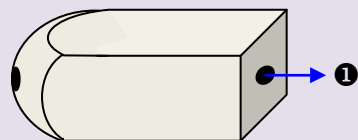
1. 解釋  $B$ - $x$  圖曲線行為之原因。
2. 粗管與細管哪一個較趨近於無線長螺線管? 為什麼?
3. 除了用霍耳測試棒的方法量  $B$  場外, 還有什麼方法可以量  $B$  場? 請詳細說明原理? 試繪出簡單的裝置圖。

## 附錄 I



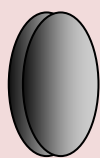
線圈：

- ① 線圈插孔 (A: Begin)
- ② 線圈插孔 (M: Middle)
- ③ 線圈插孔 (E: End)
- ④ U 形鐵心插入孔

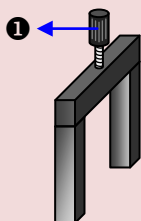


柱狀鐵心

- ① 圓盤插入孔

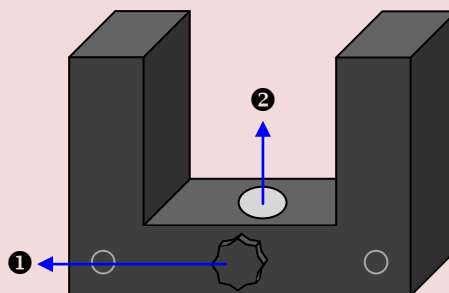


圓盤



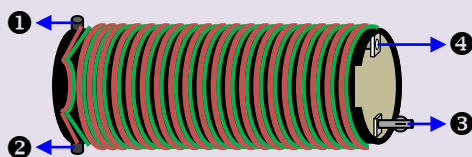
柱狀鐵心固定夾

- ① 固定夾



U 型鐵心

- ① 支撐棒插入孔
- ② 固定旋鈕



粗螺線管

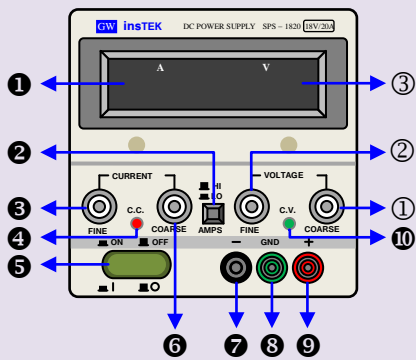
- ① 導線插孔 ③ 螺線管插銷
- ② 導線插孔 ④ 螺線管插孔



細螺線管

- ① 導線插孔 ③ 螺線管插銷
- ② 導線插孔 ④ 螺線管插孔
- ①、② 匝數不同

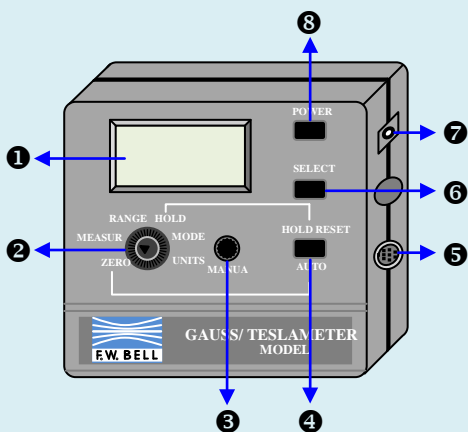
### insTEK SPS-1820 DC 電源供應器



- ① 輸出電流顯示幕
- ② 高/低電流輸出選擇鈕
- ③ 輸出電流微調旋鈕
- ④ 電流工作模式指示燈
- ⑤ 電源開關
- ⑥ 輸出電流粗調旋鈕
- ⑦ 輸出“-”插孔
- ⑧ 接地插孔
- ⑨ 輸出“+”插孔
- ⑩ 電壓工作模式指示燈
- ⑪ 輸出電壓粗調旋鈕
- ⑫ 輸出電壓微調旋鈕
- ⑬ 輸出電壓顯示幕

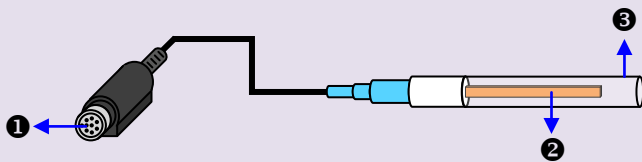
註：最大輸出電壓  $V_{max} = 18\text{ V}$ ；最大輸出電流  $I_{max} = 20\text{ A}$

高電流輸出：0 ~ 額定電流；低電流輸出：0 ~ 1/2 額定電流



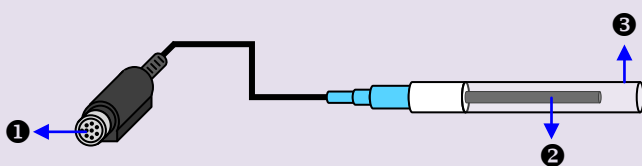
### 高斯計

- ① 顯示幕
- ② 功能選擇旋鈕
- ③ 手動歸零控制鈕
- ④ 自動/鎖定重置按鈕
- ⑤ 探棒連接插孔
- ⑥ 選擇開關
- ⑦ DC 電源插孔
- ⑧ 電源開關



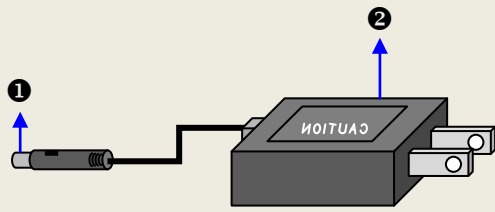
### 橫向高斯計探棒

- ① 訊號連接插頭
- ② 探棒
- ③ 保護套



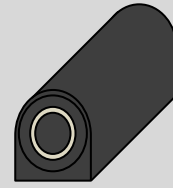
### 軸向高斯計探棒

- ① 訊號連接插頭
- ② 探棒
- ③ 保護套

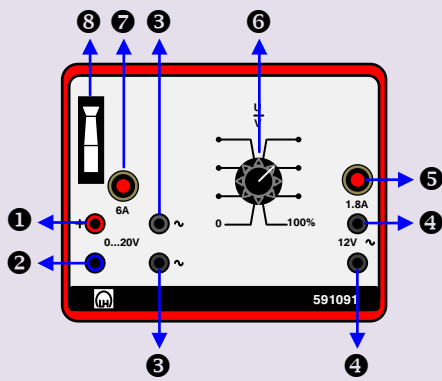


高斯計電源供應器

- ① DC 電源輸出插頭    ② AC 電源插頭

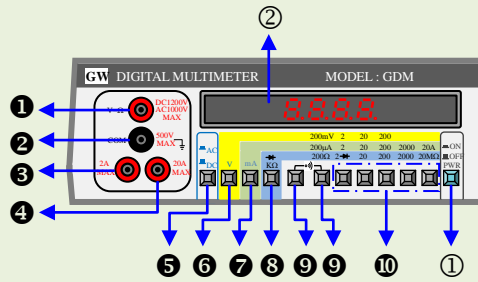


高斯計歸零校正腔



LH 電源供應器

- ① 0~20V DC "+"輸出端插孔    ⑥ 輸出調整鈕  
 ② 0~20V DC "-"輸出端插孔    ⑦ 過電流重置鈕  
 ③ 0~20V AC 輸出端插孔        ⑧ 電源開關  
 ④ AC 12V 1.8A 輸出端插孔  
 ⑤ AC 12V 1.8A 過電流重置鈕



數位式三用電表

- ① 電壓/電阻量測輸入插孔    ⑤ AC/DC 量測選擇鈕    ⑨ 警示聲( $\sigma < 1\text{moh}$ )  
 ② 接地輸入插孔                ⑥ 電壓量測選擇鈕        ⑩ 量測範圍選擇鈕  
 ③ 2A 電流量測輸入插孔       ⑦ 電流量測選擇鈕        ① 電源開關  
 ④ 20A 電流量測輸入插孔     ⑧ 電阻量測選擇鈕        ② 顯示幕

## 附錄 II

### 高斯計簡易操作步驟：

#### 1. 歸零

- (1) 將高斯計電源供應器之 DC 電源輸出插頭插入高斯計 DC 電源線插孔。
- (2) 將高斯計探棒之保護套拆下，訊號連接插頭插入高斯計之探棒插孔，探棒置於高斯計歸零校正腔中。(註：插頭(腳)有方向性，確認後才插入，否則會造成損毀！插入(取下)皆禁止旋轉(會損毀)！)
- (3) 按下高斯計電源按鈕，功能選擇鈕轉至 "ZERO"，此時在顯示幕上會有 "ZERO" 字樣閃爍，同時也會有磁場讀數顯示。
- (4) 按下 "AUTO" 鍵後，歸零程序開始。此時顯示幕上會有 "AUTO" 字樣閃爍，一般歸零程序持續 5 ~ 15 秒，完成後會發出 "嗶" 的一聲表歸零程序完成，"AUTO" 閃爍字樣消失，但 "ZERO" 字樣仍然持續閃爍以備隨時操作歸零。

#### 2. 磁場狀態選擇

高斯計功能選擇鈕轉至 "MODE"，按下 "SELECT" 鍵使 "DC" 字樣出現於顯示幕上 (DC : static ; AC : alternating)。

#### 3. 量測單位選擇

高斯計功能選擇鈕轉至 "UNITS"，按下 "SELECT" 鍵使 "T" 字樣出現於顯示幕上 (G:Gauss ; T:Tesla ; Am : Ampere-meters)。

#### 4. 量測範圍選擇

高斯計功能選擇鈕轉至 "RANGE"，按下 "SELECT" 鍵使 "AUTO RANGE" 字樣出現於顯示幕上，量測要轉到 measure。