

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 物理科

030112

中點魔法師

學校名稱：嘉義市立蘭潭國民中學

作者：	指導老師：
國三 楊靜蕙	張耀宗
國三 蔡佩恩	王柏仁
國三 黃銘彰	
國三 黃銘進	

關鍵詞：線圈、磁場

## 壹、摘要

本研究以自創水上實驗觀察迴紋針被吸入載流線圈後的運動行為與最後停止位置，並實際以二種自製測量裝置測出螺絲在線圈中各處受力大小。經實驗證實迴紋針被吸入載流線圈後會停在线圈中點，而我們也成功地量出螺絲在线圈兩端的受力較大，且螺絲受力以非線性關係隨位置遞減，愈靠近线圈中點位置受力愈小而在线圈正中央處不受力，且受力方向是指向线圈中點位置，因此可推論迴紋針被吸入載流線圈後停在中點的原因是磁力的作用所造成。

## 貳、研究動機

我們在第六冊的自然與生活科技參考書中看到一個問題：「將迴紋針的1/3部分放入中空線圈中，接通電流後會使迴紋針吸入線圈中，且迴紋針會停在线圈的中點。」這個問題讓我們很疑惑，因為我們在課程中學到：「載流線圈內的磁場是均勻的且方向是S極到N極。」既然如此，迴紋針在线圈中磁化後受力應是均勻的，那迴紋針為什麼會停在线圈的「中點」？又為什麼迴紋針會被吸入線圈中？是線圈中的磁場比線圈外大嗎？我們把這個問題請教老師，老師提議我們動手作實驗研究看看，於是我們就設計許多實驗，看看能否探討出原因。

## 參、研究目的

- 一、設計實驗觀察迴紋針或大頭針能否被吸入線圈中？
- 二、觀察迴紋針或大頭針被吸入後的運動行為與最後停止點在何處？
- 三、以小磁針代替迴紋針的實驗結果為何？電流造成的感應磁場方向是否會影響實驗結果？
- 四、左右線圈密度不同時是否會影響吸入效果？迴紋針被吸入後的運動行為與最後停止點是否被影響？
- 五、迴紋針在线圈中各處受力大小與位置之關係為何？磁力是否是造成最後停止點在中點的原因？
- 六、大頭針被線圈吸入後的運動情形與受力關係為何？

## 肆、實驗器材

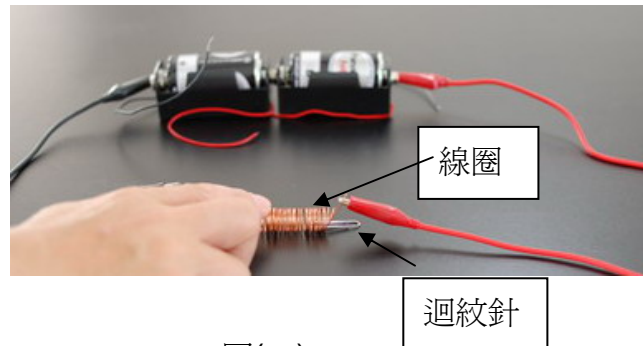
漆包線、吸管、注射針筒、鐵管、乾電池數顆、鱷魚夾導線、開關、珍珠板、巴沙木、塑膠水盆、塑膠尺、小鐵環、螺絲帽、磁針、迴紋針、大頭針。

## 伍、研究過程與方法

### 一、設計實驗觀察迴紋針或大頭針能否被吸入線圈中：

#### (一) 漆包線線圈：

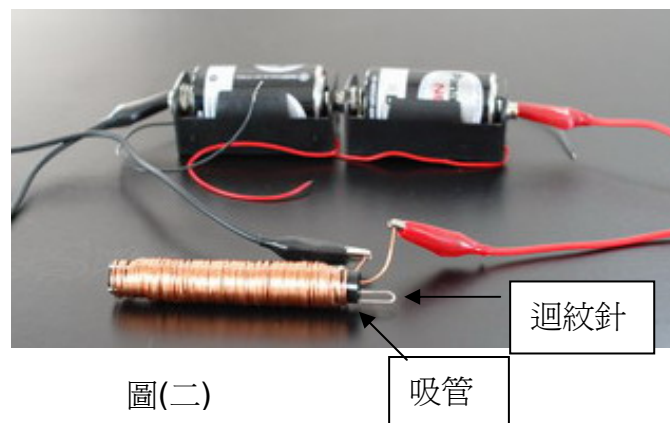
- 1.將漆包線纏繞在原子筆上成爲線圈後抽出原子筆。
- 2.將迴紋針的 1/3 部分放入中空線圈中。
- 3.以鱷魚夾導線與乾電池接通電流，觀察迴紋針的運動情形。



圖(一)

#### (二) 改進實驗方法：吸管纏繞漆包線

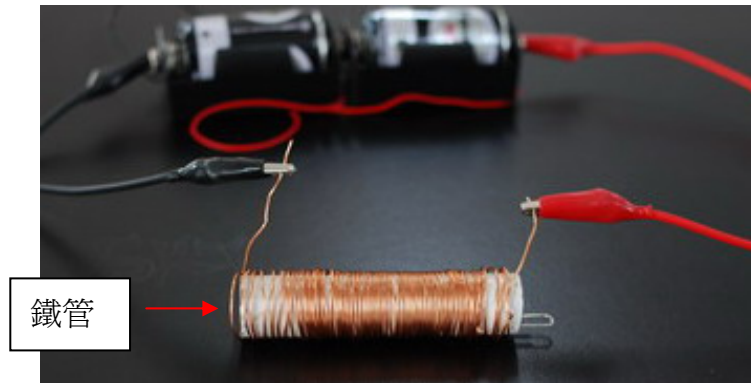
實驗(一)中的迴紋針有時被吸入，但很少停在正中間，有時甚至根本不動，我們認爲是迴紋針與線圈間摩擦力太大，於是改將漆包線纏繞在吸管上成爲線圈，讓迴紋針在吸管內壁運動以減少摩擦力，實驗裝置如下圖(二)，重複實驗(一)步驟。



圖(二)

#### (三) 改進實驗方法：鐵管纏繞漆包線

實驗(二)中的迴紋針較實驗(一)容易被吸入，但仍不易移動，顯然摩擦力還是有一些影響，於是將漆包線改纏繞在鐵管上成爲線圈，看能不能藉由鐵管加強磁場，讓摩擦力的影響相對的減小，實驗裝置如下圖(三)。再重複實驗(一)步驟。

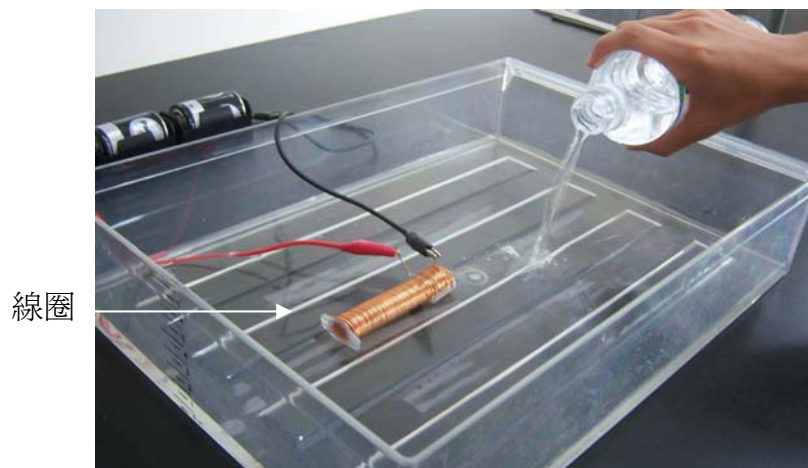


圖(三)

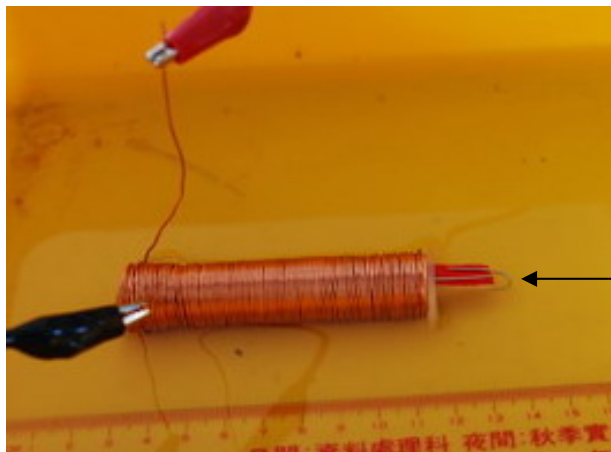
(四) 改進實驗方法：水中實驗法

實驗(三)中的迴紋針會被鐵管吸住後不動，因此不能以鐵管纏繞線圈來做實驗，為克服摩擦力，我們多方嘗試並絞盡腦汁，設計出如下步驟：

1. 注射針筒切開頭部後纏繞漆包線 2 層。
2. 將線圈平放入水盆中，注入水使水位達線圈中間高度位置。



3. 將迴紋針夾在珍珠板上，迴紋針的 1/3 部分放入中空線圈中。
4. 以鱷魚夾導線與乾電池接通電流，觀察迴紋針的運動情形。



夾在珍珠板上的迴紋針

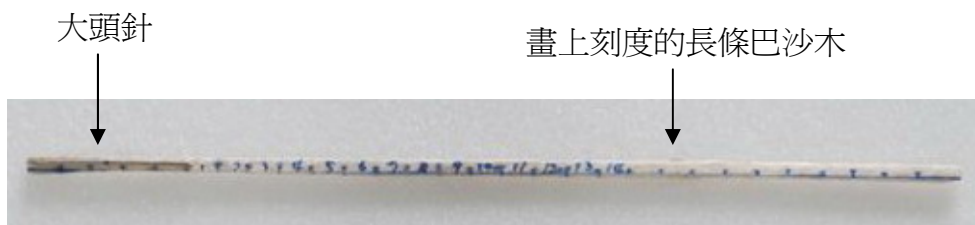
圖(五)

二、觀察大頭針被吸入後的運動行為與最後停止點在何處？

由以上實驗可發現目前已成功克服摩擦力的因素，但要觀察迴紋針最後停止點在何處並不容易，在我們多方腦力激盪後想出以下的好方法，實驗裝置如下圖(六)：

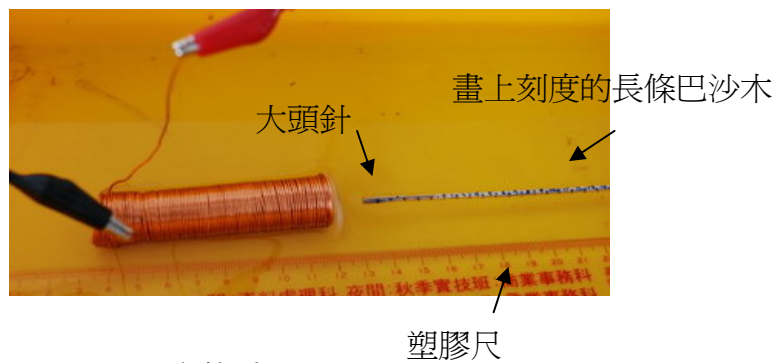
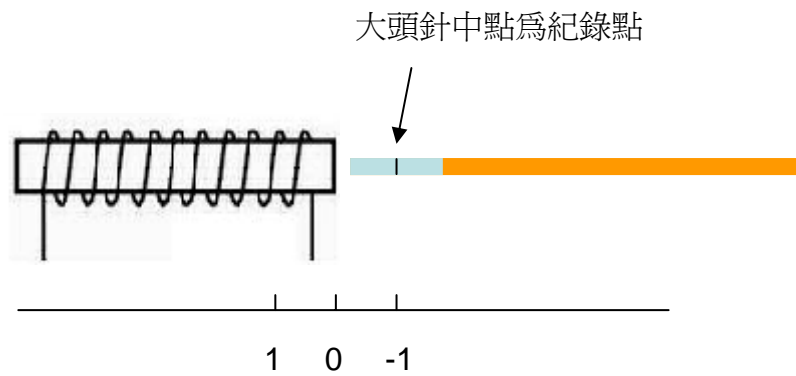
(一) 以大頭針加上長巴沙木作為觀察最後停止點位置的工具：

1. 將巴沙木切成寬 1mm 的長條狀，其上以油性筆劃上間隔 5mm 的刻度記號。
2. 將大頭針黏在巴沙木上，並以油性筆在大頭針正中央作記號，重複實驗一、(四) 中的步驟。



圖(六)

3. 觀察大頭針被吸入後的運動行為並紀錄巴沙木進入線圈中的最後停止點位置。位置座標算法：如下圖(七)線圈右端為原點 O，線圈右端外側為負值，線圈內側為正值，以大頭針中點為紀錄點。



圖(七)

4.重複步驟 2~3 五次。

(二) 改變大頭針的起始位置，重複步驟 (一)。

(三) 改變線圈長度，重複步驟 (一)、(二)

三、以小磁針代替大頭針的實驗結果為何？電流造成的感應磁場方向是否會影響實驗結果？

由以上實驗可發現大頭針被吸入後最後停在中點上，因此我們想若以磁針代替大頭針，線圈中的磁場對磁針的作用力為何？

(一) 實驗裝置如下圖(八)

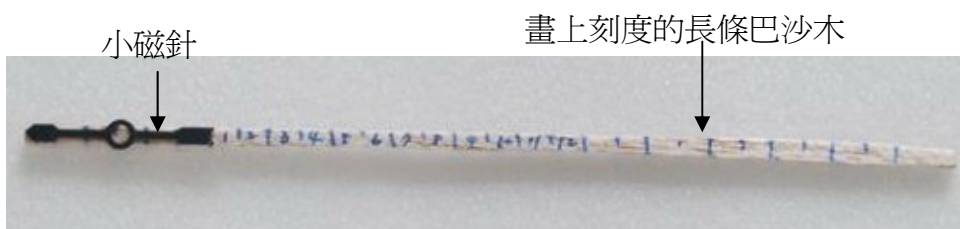
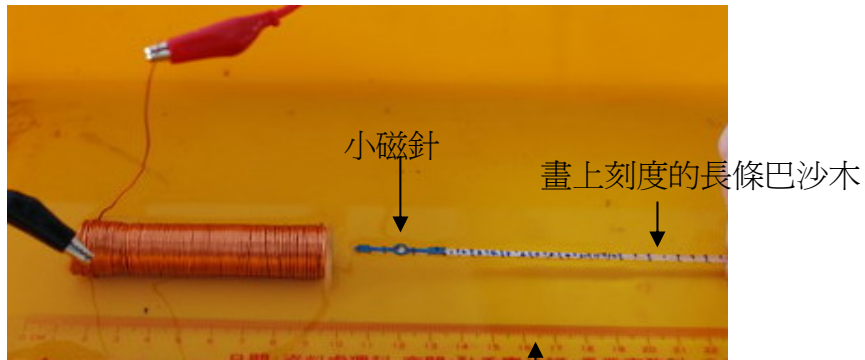


圖 (八)

(二) 將磁針黏在巴沙木上，重複實驗二中的步驟。



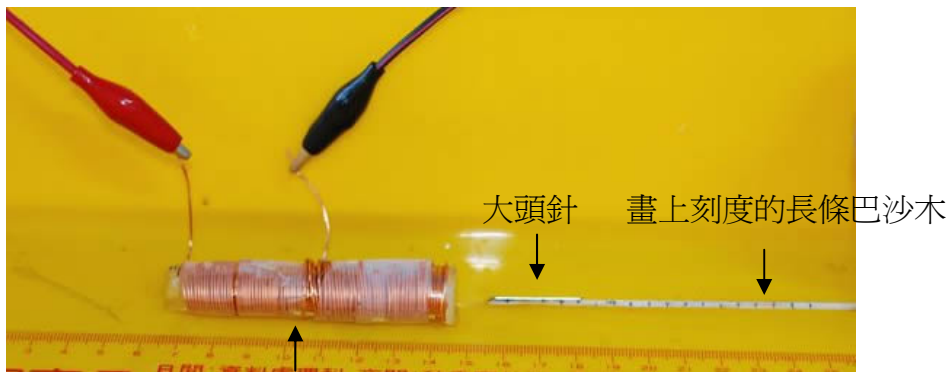
圖(九)

塑膠尺

四、左右不對稱磁場是否會影響吸入效果？被吸入後的運動行為與最後停止點是否被影響？

由以上實驗可發現大頭針及磁針被兩端對稱磁場吸入後最後停在中點上，因此我們想若將線圈兩端纏繞不同層數線圈，造成左右不對稱磁場時，線圈中的磁場對磁針的作用力將會如何？

(一) 實驗裝置如下圖(十)，將線圈左端纏繞一層線圈而右端纏繞 2 圈線圈。



左半單層右半雙層線圈

圖(十)



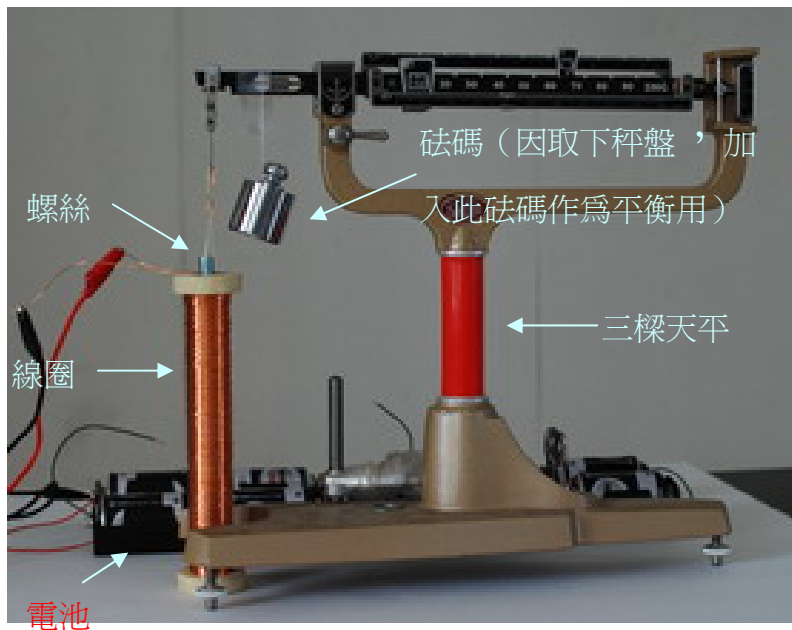
圖(十一)

(二) 重複實驗二、三中的步驟。

五、螺絲在線圈中各處受磁力大小：

(一) 以三樑天平測量

1. 實驗裝置如下圖(十二)



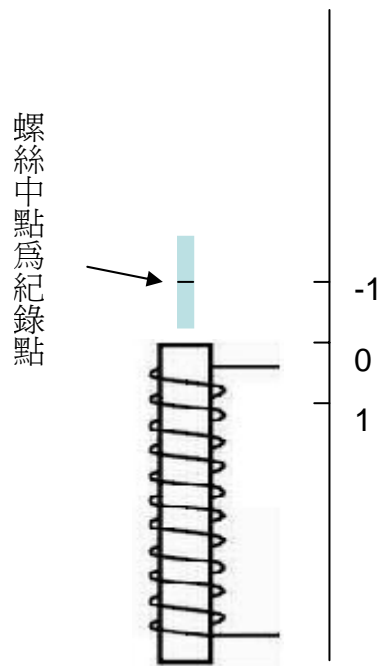
圖(十二)

2. 將三樑天平改裝成磁力測量器：

- (1) 將三樑天平左端秤盤取下，改掛一砝碼使其兩端平衡。
- (2) 取一螺絲，將螺帽突出部份以砂輪機磨掉，使螺絲成爲一圓柱體。
- (3) 將線圈置於左端，螺絲懸掛於線圈內，調整懸線長度使螺絲中點位於線圈上方 2 cm 處，螺絲位置記錄方



式：如下圖（十三），線圈上方邊緣處為原點 O，線圈上端外側為負值，線圈內側為正值，以螺絲中點為紀錄點。



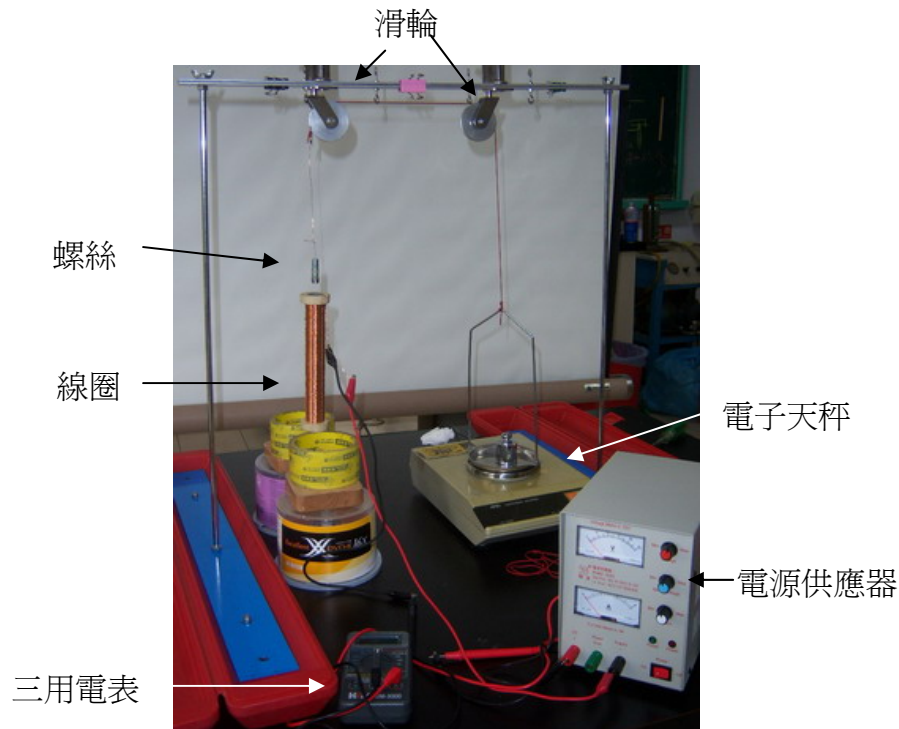
圖（十三）

- (4) 移動騎碼使天平平衡，紀錄原始騎碼讀數。
- (5) 線圈接通乾電池電流，此時螺絲因受磁力而使天平左端下傾，移動騎碼使天平平衡，紀錄騎碼讀數。
- (6) 兩次讀數差即為螺絲所受磁力，磁力方向向下為正，向上為負。
- (7) 重複步驟 2~5 五次。

3.調整懸線長度以改變步驟 2（3）中的螺絲在線圈中位置，重複步驟 2（3）~（7）。

- (二) 為提高實驗準確度，改以電子天平測量螺絲在線圈中的受力。
1. 實驗裝置如下圖（十四），利用滑輪及電子天平測量通電前後砝碼質量差，即可測出螺絲在線圈中的受力。
  2. 將線圈置於左側，螺絲以細線懸吊並穿越過摩擦力很小的培林滑輪，細線另一端懸掛砝碼，砝碼置於電子天平上，未通入電流前測砝碼質量。
  3. 以電源供應器供電，並串連三用電表測每次通入線圈之電流大小，以確保每次實驗的電流相同，線圈通入電流後再測砝碼質量，紀錄二次質量之差，此值即為螺絲受力大小。

4. 重複上述步驟 2、3 五次。
5. 改變懸線長度，重複步驟 2~4，測量螺絲在線圈中各點的受力大小。
6. 分析螺絲在線圈中各位置受力情形與位置之關係。



圖(十四)

## 陸、結果

- 一、設計實驗觀察迴紋針或大頭針能否被吸入線圈中：
  - (一) 將迴紋針的 1/3 部分放入中空漆包線圈中，接通電流後迴紋針有時被吸入，有時不動。
  - (二) 將迴紋針的 1/3 部分放入纏繞漆包線圈的吸管中，接通電流後有時被吸入，有時不動。
  - (三) 將迴紋針的 1/3 部分放入纏繞漆包線圈的鐵管中，接通電流後迴紋針被吸住不動。
  - (四) 水中實驗法：
    - 夾著迴紋針的珍珠板被吸入線圈中，但不易觀察到停止位置。

二、觀察大頭針被吸入後的運動行為與最後停止點在何處？

(一) 運動行為：大頭針被吸入後向線圈另一端前進，超過線圈中點約 1cm 時會倒退，並且有小幅前後震盪現象，最後停在中點位置。

(二) 大頭針停止位置

1. 線圈長度：1.8 cm，大頭針長度 2.6 cm，大頭針起始位置算法：正值表示大頭針中央點在線圈內，負值表示大頭針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表一）

大頭針 起始位置 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
-2cm	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
-1cm	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
0cm	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

2. 線圈長度：3.5cm，大頭針長度 2.6cm，大頭針起始位置算法：正值表示大頭針中央點在線圈內，負值表示大頭針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表二）

大頭針 起始位置 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
-2cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
-1cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
0cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
1cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

3. 線圈長度：4.5 cm，大頭針長度 2.6cm，大頭針起始位置算法：正值表示大頭針中央點在線圈內，負值表示大頭針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表三）

大頭針 起始位置 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
-2cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
-1cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
0cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
1cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3

4. 線圈長度：8 cm，大頭針長度 2.6cm，大頭針起始位置算法：正值表示大頭針

中央點在線圈內，負值表大頭針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表四）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
-1cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
0cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
2cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

### 三、以小磁針代替大頭針的實驗結果

#### （一）運動行爲：

- 1.磁針 N 極靠近線圈 N 極時，起始位置不管在線圈內外，磁針皆被彈出遠離線圈。
- 2.當磁針 N 極靠近線圈 S 極時，小磁針被吸入線圈，吸入後向線圈另一端前進，超過線圈中點約 1.5cm 時會倒退，並且有小幅度前後震盪現象，最後停在中點位置。

#### （二）小磁針停止位置

1.線圈長度：1.8 cm，小磁針長度 3 cm，小磁針起始位置算法：正值表示磁針中央點在線圈內，負值表示磁針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表五）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
-1cm	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
0cm	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

2. 線圈長度：3.5cm，小磁針長度 3cm，小磁針起始位置算法：正值表示磁針中央點在線圈內，負值表示磁針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表六）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
-1cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
0cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
1cm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

3. 線圈長度：4.5cm，小磁針長度 3cm，小磁針起始位置算法：正值表示磁針中央

點在線圈內，負值表示磁針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表七）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
-1cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
0cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
1cm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3

4. 線圈長度：8cm，小磁針長度 3cm，小磁針起始位置算法：正值表示磁針中央點在線圈內，負值表示磁針中央點在線圈外，位置原點在線圈右端（表八）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
-1cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
0cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
2cm	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

四、左右線圈密度不同時是否會影響吸入效果？被吸入後的運動行為與最後停止點是否被影響？

（一）運動行為：

- 1.大頭針被吸入後向線圈另一端前進，在線圈中某一點會開始倒退，並且有小幅前後震盪現象，最後停在线圈中某處位置。
- 2.磁針 N 極靠近線圈 N 極時，起始位置不管在线圈內外，磁針皆被彈出遠離線圈。
- 3.當磁針 N 極靠近線圈 S 極時，小磁針被吸入線圈，吸入後向線圈另一端前進，在线圈中某一點會開始倒退，最後停在 2 層線圈中點位置。

（二）大頭針停止位置

線圈總長度：7.5 cm，右端雙層線圈 4cm，左端單層線圈 3.5cm，大頭針長度 2.6cm。大頭針起始位置算法：正值表示大頭針中央點在线圈外，負值表示大頭針中央點在线圈內，位置原點在线圈右端。

1.大頭針從右端雙層線圈進入（表九）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均

-2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
-1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
0cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

2.大頭針從左端單層線圈進入（表十）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
-1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
0cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

### （三）小磁針停止位置

線圈總長度：7.5 cm，右端雙層線圈 4cm，左端單層線圈 3.5cm，小磁針長度 2.6cm。

小磁針起始位置算法：正值表示磁針中央點在線圈外，負值表示磁針中央點在線圈內。

1. 小磁針從右端雙層線圈進入（表十一）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
-1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
0cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

2. 小磁針從左端單層線圈進入（表十二）

次數 大頭針 起始位置	1	2	3	4	5	平均
-2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
-1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
0cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
1cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2cm	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

五、測量鐵製螺絲在線圈中各處之受力情形：

線圈長度：16cm，小螺絲長度 3 cm，小螺絲位置算法：正值表示螺絲頭在線圈內，負值表示螺絲頭在線圈外；磁力方向向下為正，向上為負。

(一) 以三樑天平測螺絲在線圈中的受力 (gw)。(表十三)

螺絲位置 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
-2cm	0.18	0.20	0.26	0.12	0.14	0.18
-1cm	0.84	0.95	1.02	0.79	0.88	0.90
0cm	3.01	3.12	2.95	2.89	3.03	3.00
1cm	3.85	4.01	3.96	3.82	3.79	3.89
2cm	2.92	2.88	2.79	2.90	2.84	2.87
3cm	1.82	1.84	1.93	1.72	1.76	1.81
4cm	0.94	0.99	1.03	0.87	0.93	0.95
5cm	0.84	0.84	0.78	0.78	0.87	0.82
6cm	0.82	0.83	0.79	0.74	0.79	0.79
7cm	0.65	0.60	0.69	0.52	0.55	0.60
8cm (線圈中點)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9cm	-0.53	-0.60	-0.52	-0.54	-0.61	-0.56
10cm	-0.78	-0.80	-0.79	-0.72	-0.76	-0.77
11cm	-0.81	-0.86	-0.79	-0.89	-0.93	-0.86
12cm	-1.06	-1.03	-0.90	-0.97	-0.92	-0.98
13cm	-1.66	-1.56	-1.52	-1.68	-1.63	-1.61
14cm	-2.50	-2.53	-2.49	-2.61	-2.57	-2.54
15cm	-3.72	-3.83	-3.91	-3.70	-3.89	-3.81
16cm	-2.99	-2.91	-2.79	-2.76	-2.85	-2.86
17cm	-0.92	-0.90	-0.86	-0.84	-0.96	-0.90
18cm	-0.12	-0.09	-0.15	-0.19	-0.11	-0.13

(二) 以電子天平測量螺絲在線圈中各處受力情形 (gw)。(表十四)

螺絲位置 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
-2cm	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09
-1cm	0.19	0.17	0.15	0.21	0.14	0.17
0cm	1.38	1.44	1.33	1.41	1.37	1.39
1cm	2.94	2.79	2.89	2.96	2.93	2.90
2cm	2.19	2.07	2.09	2.08	2.04	2.09
3cm	1.18	1.15	1.15	1.14	1.15	1.15

4cm	0.57	0.74	0.73	0.62	0.62	0.66
5cm	0.63	0.51	0.49	0.52	0.49	0.53
6cm	0.55	0.42	0.46	0.52	0.47	0.48
7cm	0.33	0.4	0.39	0.42	0.39	0.39
8cm (線圈中點)	0.02	-0.02	0.04	-0.03	0.02	0.01
9cm	-0.42	-0.38	-0.46	-0.36	-0.43	-0.41
10cm	-0.48	-0.53	-0.6	-0.52	-0.52	-0.53
11cm	-0.56	-0.65	-0.63	-0.55	-0.67	-0.61
12cm	-0.6	-0.71	-0.75	-0.8	-0.75	-0.72
13cm	-1.02	-1.21	-1.09	-1.08	-0.99	-1.08
14cm	-1.89	-1.96	-1.99	-2.01	-2.03	-1.98
15cm	-2.93	-3.02	-2.88	-2.92	-2.95	-2.94
16cm	-1.62	-1.58	-1.49	-1.53	-1.61	-1.57
17cm	-0.21	-0.26	-0.31	-0.28	-0.16	-0.24
18cm	-0.11	-0.13	-0.15	-0.14	-0.13	-0.13

## 柒、討論

- 一、由實驗一的結果，我們發現迴紋針並不易被吸入線圈中，常是留在原處不動，我們認為可能是迴紋針與線圈間摩擦力太大，或是磁場太小，於是我們朝向減少摩擦力與增加磁場強度方向來著手，說明如下：
  - (一)、實驗改良當中遇到多次失敗，像一開始在線圈中套上珍珠奶茶吸管增加平滑度，但迴紋針還是不容易移動。
  - (二)、在線圈中加入鐵管來增加磁場強度，雖然磁場增強了，卻造成迴紋針直接被吸在鐵管上，與我們原先想觀察的目標不符合，因此必須再多嘗試其他方法。
  - (三)、經過無數次的挫敗後，我們幾乎想要放棄時，因為爸爸在假日帶我們去日月潭乘坐遊艇而引發靈感，隔天找老師討論出水上實驗法，果然解決了摩擦力讓迴紋針不動的困擾，也讓實驗得以繼續下去。
  - (四)、對於被線圈吸入的迴紋針，一開始也一直找不到方法觀察最終停止位置，我們想把線圈繞的稀疏些以方便觀察卻造成磁場減弱，也想過用攝影鏡頭深入線圈中拍攝來觀察，但是器材太貴且操作不易而作罷，實驗因此延宕幾個禮拜後，有一天在大家腦力激盪下想出迴紋針後面拉一條線似乎可以解決這個問題，實際試了以後又發現線會彎曲，用來測長度不準確，



後來用珍珠板，實際裁切後又發現裁成細長條會彎曲不直，最後找到製作模型飛機的巴沙木，輕又容易裁切，是理想的材料。

(五)、磁場強度不夠的問題，我們則是以串聯多個乾電池及線圈多繞一層來解決。

二、由實驗結果二，我們觀察大頭針被吸入後的運動行爲，與最後停止點在何處的關係：

(一)、由數據表一～表四可知，不管大頭針起始位置在何處，皆可被吸入線圈中。由此可知參考書題目中寫到迴紋針 1/3 放入線圈中只是其中一個狀況，並不一定要如此，只要接近線圈就可以被吸入。在實驗之前，我們也推測如此，因為線圈內的磁力線分布比線圈外密集，磁場在線圈內會大於線圈外，所以應該會被吸入。

(二)、由課本中的磁力線分布圖可知，線圈中的磁場是一個均勻磁場。由大頭針被吸入線圈中的運動行爲看到大頭針被吸入後向前運動，但超過線圈中點約 1cm 時會倒退，最後停在中點處。這說明了大頭針雖然位在均勻分布的磁場中，但受磁力並不均勻，不同位置的磁力大小應不同，爲了證明此觀點，我們設計了實驗五觀察驗證。

(三)、在觀察中，我們也發現到大頭針在停止前有小幅前後震盪現象，讓我們覺得很好玩，與老師討論後，老師提到這可能是國中課程還沒有教的「簡諧運動」，於是我們也查了相關資料來了解簡諧運動。

(四)、我們查資料發現到，在師大物理系的物理教學示範實驗網站中的物理問題討論區有針對這個問題的討論，其中黃福坤教授提到「若你指的是無重力狀態，可能造成週期運動但是並非簡諧運動，因為作用力並非和位移成正比」，因此我們想到，如果能做實驗證明大頭針在線圈中的受力大小與位移是否爲正比關係，就可以證實是否爲簡諧運動。

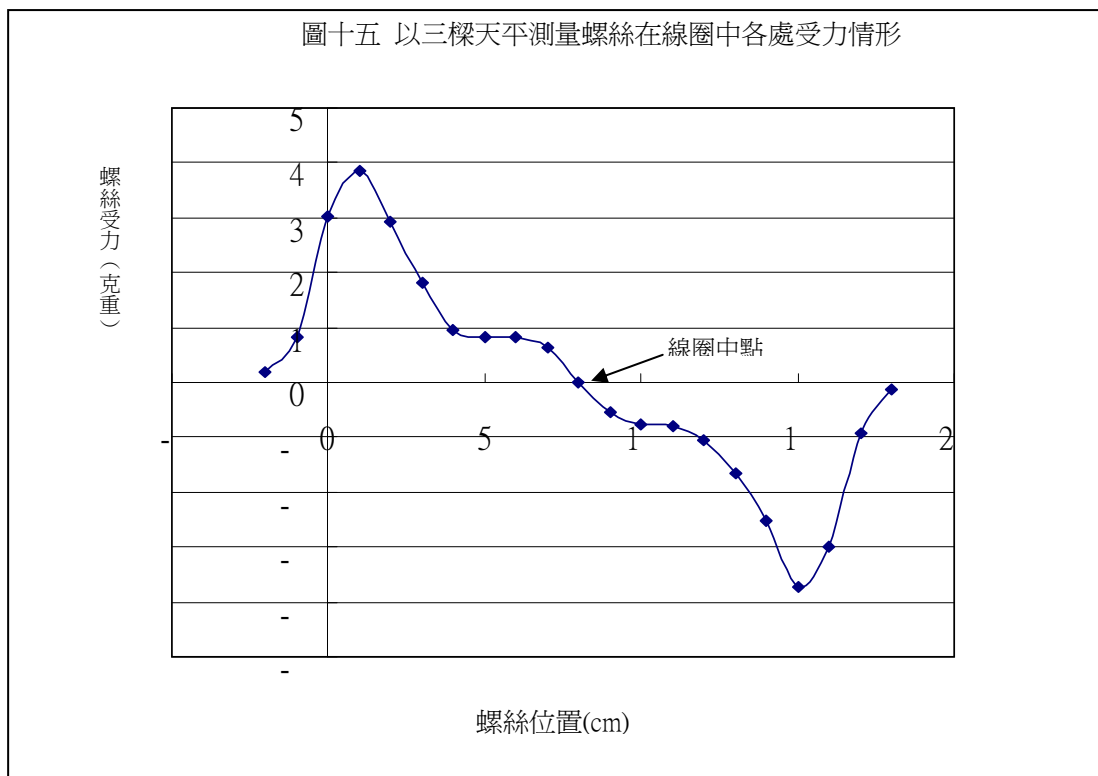
三、在課程中我們學到大頭針在磁場中會被磁化成暫時磁鐵，因此在线圈中的大頭針可以看成是小磁針，於是我們將實驗室裡的指北針拆開，取出裡面的小磁針來代替大頭針做實驗，結果分析如下：

- (一)、因為磁針本身即有磁極存在，因此當磁針 N 極靠近線圈 N 極或是磁針 N 極在線圈 N 極內時，電流接通後，磁針就會被彈出。
- (二)、若磁針 N 極靠近線圈 S 極時，不管起始位置在線圈內外，磁針皆會被吸入線圈內，前進超過中點約 1.5cm 時，會停下再後退，最後停止在中點位置。磁針的運動行為和大頭針一樣，但移動速率較快，這應是磁力較大的關係。
- (三)、由數據表五～表八可知，不同長度的線圈最後皆讓磁針停在中間位置，且最終停止位置與起始位置無關，這點也與大頭針的情形一樣。
- (四)、小磁針在停止前的前後震盪運動現象比實驗二中的大頭針明顯。

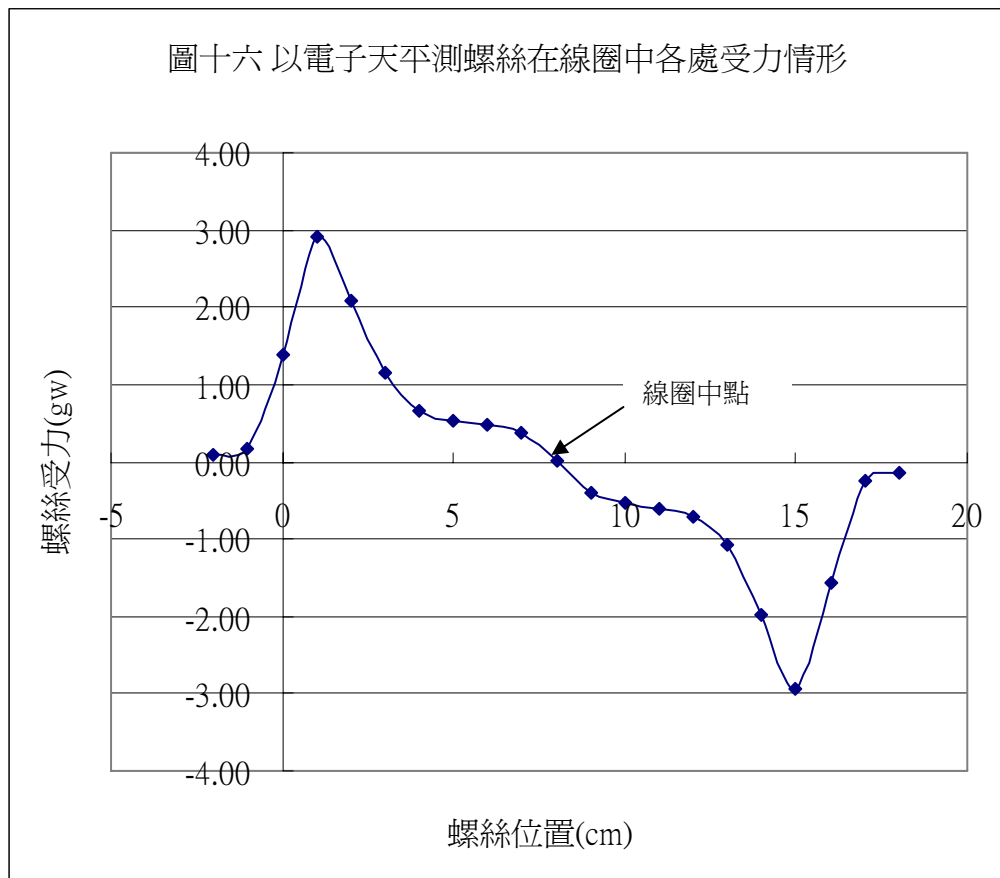
四、由實驗四的結果表九～表十二，我們可知線圈層數左右不同時，大頭針與磁針由二層那端被吸入時，過了二層線圈中點不遠處就倒退回二層線圈的中點。而大頭針由單層線圈那端被吸入時，一開始速度很慢，接近二層線圈時速度加快，最後也是停在二層線圈中點。由此可知，大頭針在二層線圈中受到的磁力較大，在單層線圈中所受磁力較小，最後停止位置在二層線圈的中點，磁力較大之處。

五、由實驗結果五，測量鐵製螺絲在線圈中各處所受磁力

由表十三，以三樑天平測量螺絲在線圈中的受力情形可繪製出如下關係圖十五：



(一)、由表十四，以電子天平測量螺絲在線圈中的受力情形可繪製出如下關係圖（十六）：



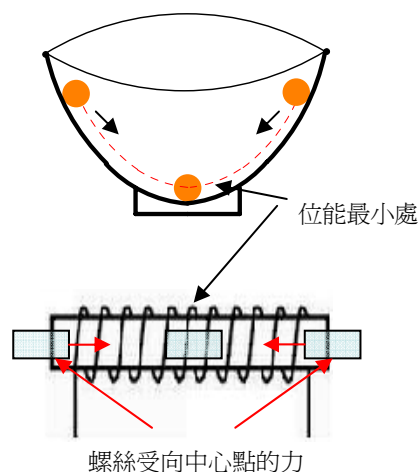
(二)、由圖（十五）及圖（十六）可看出：

- 1.以「精密的電子天平及使用電源供應器所做出的數據」與以「三樑天平及乾電池供電所測出的數據」二者相同，但以電子天平來操作實驗速度較快。由此可知我們一開始使用簡易的工具及細心的操作之下，效果並不會比精密儀器差。
- 2.螺絲在載流線圈中受力並非如線圈中的磁場一般是均勻的，也就是說在不同位置有不同的受力大小。
- 3.螺絲本身在載流線圈中時，會被磁化為暫時磁鐵，其兩極皆受線圈磁場吸引或排斥，因此螺絲在線圈中所受的力並非像一般磁鐵吸引鐵釘之情形，單純是磁鐵一極對磁化的鐵釘造成的吸引力。
- 4.螺絲在載流線圈中受力情形應為線圈磁場對磁化成磁鐵的螺絲兩極所造成的磁力之合力。
- 5.螺絲在載流線圈中受力大小與位置關係，我們分別以兩種方式測量的結果都可看出其曲線是明顯的非直線，也就是說兩者並非正比關係，因此也證明了在討論二、(四)中提到「是否為簡諧運

動？」的疑問，大頭針在線圈中的運動是在中點附近的前後震盪，但並非簡諧運動。

(三)、我們在測量螺絲受力情形時，是以向下為正，向上為負，由上圖（十五）及圖（十六）可清楚看出：

1. 螺絲在線圈中點受力為零。
2. 螺絲在線圈中點以上的位置時，螺絲受力為正值，方向為向下指向中點，而螺絲在線圈中點以下的位置時，螺絲受力為負值，方向為向上指向中點，因此不管螺絲位置在何處，螺絲受力皆為指向中點位置。
3. 螺絲受力最大值在螺絲大部分進入線圈中時螺絲（螺絲 2.5cm 在線圈內 0.5cm 在線圈外），當螺絲外露到線圈外愈多時，受力愈小。當螺絲進入線圈中離中點愈近時，受力愈小，而在線圈中離中點愈遠，受力愈大，且螺絲受力大小變化並非線性關係。
4. 由以上 3 點關於螺絲受力的討論即可解釋為何迴紋針或大頭針受磁力吸入線圈後，最終會停在中點位置。
5. 以位能觀點而言，當螺絲在中點時不受力，若施力使螺絲離開中點則須施力作功使位能增加，而將螺絲釋放時，螺絲將放出位能而回到中點。對照實驗二的結果，由數據表一～表四可知，不同長度的線圈最後皆讓大頭針停在中間位置，且最終停止位置與起始位置無關，而在實驗中將大頭針推到另一頭後仍然可看到大頭針被吸回中點位置，這感覺很像把一顆球放在碗裡面，球從碗邊的高處釋放後，滾到最後還是停在碗中央最低處（如下圖（十七）），碗中央是重力位能最小處。而線圈的中點位置是螺絲受線圈磁力的位能最小處。



圖（十七）螺絲在線圈中各處的位能推想圖

- (四)、雖然我們在課程中學到線圈中磁場是均勻的，但由以上討論可知，迴紋針的運動行為並不能以均勻磁場解釋，應該以受力的大小及方向來解釋較為合理。
- (五)、由於迴紋針或大頭針在線圈中受力不大而不易測量，因此我們把線圈改成繞 4 層，並且串聯 10 個乾電池以加大電壓，再把迴紋針改成較粗大的螺絲，磁力也因此變大一些而較易測量。
- (六)、線圈通入電流後很容易發熱而使磁力變小，因此在進行本實驗時必須眼明手快，再短時間內線圈尚未變熱前就必須移動好騎碼讓天平平衡，儘快切斷電流，然後靜待約十分鐘以上讓線圈冷卻再測量下一個數據，這樣才能減少誤差。
- (七)、一開始這個實驗是設計用彈簧秤來測，經實驗後發現彈簧秤的靈敏度不佳，根本測不出來，後來上網查到有一種「推拉力計」可用，詢問廠商後卻發現價格太高而作罷，於是改用一般彈簧及橡皮筋，想利用虎克定律來測磁力大小，結果也是因為靈敏度的問題而作罷，後來發現實驗室有三樑天平這種東西，經改裝後發現很好用，也讓我們實驗成功的進行下去。

## 捌、結論

- 一、克服迴紋針與線圈間摩擦力太大的問題後，可觀察到迴紋針能被吸入載流線圈中。
- 二、不管大頭針起始位置在何處，皆可被吸入線圈中，被吸入後向線圈另一端前進，超過線圈中點約 1cm 時會倒退，最後停在中點位置。
- 三、以小磁針代替大頭針時，當磁針 N 極靠近線圈 N 極時，磁針會被彈出遠離線圈；當磁針 N 極靠近線圈 S 極時，小磁針被吸入線圈，吸入後向線圈另一端前進，超過線圈中點約 1cm 時會倒退，最後停在中點位置。
- 四、左右線圈密度不同時，當磁針 N 極靠近線圈 N 極時，磁針皆被彈出遠離線圈；當磁針 N 極靠近線圈 S 極時，小磁針被吸入線圈，吸入後向線圈另一端前進，在線圈中某一點時會倒退，最後停在右邊 2 層線圈中點位置。大頭針行為與磁針相同。

五、螺絲在載流線圈中受力並非每一點都相同，在線圈中點受力為零，在線圈中點以外的位置時，螺絲受力皆為指向中點位置，離中點愈遠受力愈大，在線圈外磁力又變小。因此受力情形是造成迴紋針能被吸入載流線圈中停在中點的主因。

六、大頭針在線圈中的受力大小與位移並非正比關係，因此其在中點附近的運動情形為非簡諧運動的前後震盪。

## 玖、參考文獻

- 1.李明芳等編《國中自然與生活科技課本第六冊》P.44 ~P57 翰林出版社。
- 2.梁豪、林晶編《國中自然與生活科技超級翰將講義第六冊》P.58 ~P68 翰林出版社。
- 3.國立師範大學物理系－物理教學示範實驗網站－物理問題討論區：
  - (1) <http://forum.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=18304>
  - (2) <http://forum.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=700>
  - (3) <http://forum.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=2568>

## 【評語】 030112

1. 本件作品設計螺管線圈從事系統化探討對磁性物質之吸引。
2. 本作品應分析不同長度螺管線圈之不同及量測磁場分佈，配合理論探討，使實驗結論能正確具體化。