

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第三名

081520

磁中乾坤－探討磁力的特性及其應用

學校名稱： 國立花蓮教育大學附設實驗國民小學

作者： 小六 白允禎 小六 羅乙珊 小六 吳亞如 小六 孔令宇 小六 胡博仁	指導老師： 李偲華、 游時銘
---	-------------------

關 鍵 詞：磁鐵、磁力、磁力緩降機

壹、摘要

本研究是從自然與生活科技領域中有關「磁鐵」、「力」及「機械」等單元出發，依據磁鐵的各種特性，研究如何精確測量磁鐵的吸力和斥力，並探討磁鐵吸力和斥力的相關性。

最後，我們依據磁鐵吸力和斥力的特性，設計可估測重量的斥力秤，並且發展出物體落下時可減緩衝力和可提高平穩度的「磁力緩衝機」。

我們利用一整年的時間完成這個研究，研究過程中，不僅覺得科學實驗非常有趣，還學習到如何改良實驗減少誤差，並將所了解的原理應用在生活中。

貳、研究動機

有天，弟弟拿著一個利用磁鐵吸力做成的「賽車遊戲」，邀我一起和他玩，讓我想起以前上自然課時，老師教導我們認識磁鐵的特性，以及怎麼測量磁鐵吸力的方式，甚至我們還和同學一同設計許多和磁鐵吸力有關的各種遊戲呢！

但是，我記得在磁鐵的特性中也提到過「磁鐵會同極相斥」，那「磁鐵的斥力要如何測量大小呢？」「磁鐵的斥力可以如何應用在生活中呢？」……一連串的疑問引發我的好奇心，老師也誇獎我，發現了一個有趣的問題，建議我找其他同學共同研究來解開心中的疑惑。

參、研究目的

- 一、探討測量磁鐵吸力及斥力的最佳方法。
- 二、探討磁鐵吸力及斥力的相關性。
- 三、探討磁鐵吸力及斥力在日常生活中的應用。

肆、研究問題

- 一、磁鐵的樣式是否會影響其吸力的大小？
- 二、如何測量磁鐵和磁鐵間的斥力大小？
- 三、磁鐵間所產生的斥力是否可轉換成重量的形式來表示？
- 四、如何利用磁鐵間斥力存在的特性設計秤重裝置？
- 五、磁鐵的個數是否會影響重量緩衝裝置所能承載的重量？
- 六、利用磁鐵的特性打造一個理想的「磁力緩降機」？

伍、研究設備及器材

- 一、器材：迴紋針、試管、各種圓形磁鐵、三合板、光碟布丁盒、光碟片、塑膠水管、PP厚紙板、墊片、角鐵、魔鬼粘、BB彈、寶特瓶、螺帽、螺絲、管帽、釘子、玻璃漏斗、砝碼、方瓦
- 二、工具：電子秤、線鋸、熱熔膠槍、槌子、尺

陸、研究過程

一、問題一：磁鐵的樣式與大小是否會影響其磁力的大小？



爲了研究此問題，我們嘗試了四種測量磁鐵吸力的不同方式，企圖找出最佳的實驗方法，提升實驗結果的精密度，以下是我們的研究歷程。

(一) 研究方法

- 1.將蒐集到的八種圓形狀磁鐵依照外型大小編號，並測量其直徑、厚度及重量。
- 2.嘗試各種磁鐵吸引迴紋針的方式，找出測量磁鐵吸力最適合的方法。
- 3.以每一個磁鐵能吸住的迴紋針個數，判斷每一個磁鐵的吸力大小。

(二) 研究結果

- 1.八種圓形磁鐵的編號及規格如下表 1-1 所示：

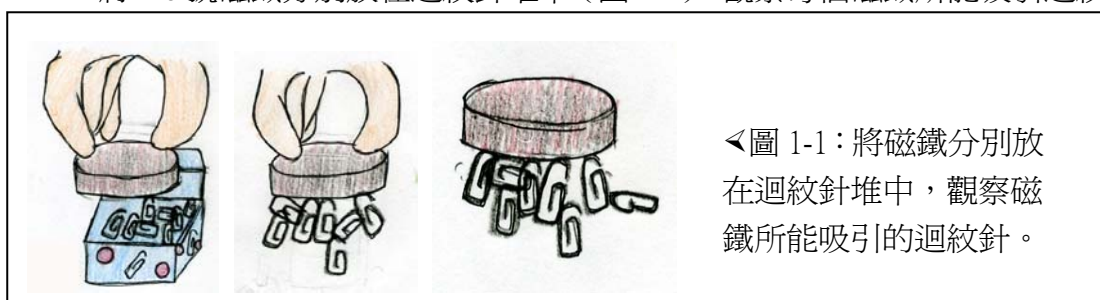
表 1-1：八種磁鐵的編號、外觀及其規格表

編號	1	2	3	4
樣式				
直徑 (cm)	2.5	2.5	2.5	2
孔的直徑 (cm)	0.8	×	×	×
厚度 (cm)	0.6	0.5	0.3	0.3
底面積 (cm ²)	17.6154	19.625	19.625	12.56
重量 (g)	12.34	13.09	8.92	6.84
編號	5	6	7	8
樣式				
直徑 (cm)	2	1.9	1.5	1.5
孔的直徑 (cm)	×	0.3	0.3	×
厚度 (cm)	0.5	0.5	0.5	0.3
底面積 (cm ²)	12.56	11.0528	6.7824	7.065
重量 (g)	7.52	5.9	3.42	2.41

- 2.爲了找出測量磁鐵磁力最適合的方式，我們嘗試了各種方法：

(1) 第一種方法：

①將 1-8 號磁鐵分別放在迴紋針堆中（圖 1-1），觀察每個磁鐵所能吸引迴紋針數。



◀圖 1-1：將磁鐵分別放在迴紋針堆中，觀察磁鐵所能吸引的迴紋針。

表 1-2：第一種方法各編號磁鐵所吸引的迴紋針數

磁鐵編號		1	2	3	4	5	6	7	8
實驗次數	1	40	73	17	27	27	20	11	13
	2	39	74	18	20	26	16	11	20
	3	33	51	11	17	27	17	18	13
平均（個）		37.3	66	15.3	21.3	26.7	17.6	13.3	15.3

②此種方式的優點為：簡單容易操作

此種方式的缺點為：每磁鐵實驗三次所吸引的迴紋針數都不同，有些差距頗大，數據的穩定度不高。為修正此缺點，我們嘗試第二種方法。

(2) 第二種方法：

①將 1-8 號磁鐵吸引一個個迴紋針（圖 1-2），觀察每磁鐵所能吸引迴紋針數。



◀圖 1-2：磁鐵吸引一個一個的迴紋針，觀察每個磁鐵所能吸引的迴紋針數。

表 1-3：第二種方法各編號磁鐵所吸引的迴紋針數

磁鐵編號		1	2	3	4	5	6	7	8
實驗次數	1	3	4	1	2	3	2	2	2
	2	3	4	1	2	2	2	2	2
	3	3	4	1	2	2	2	2	2
平均（個）		3	4	1	2	2.3	2	2	2

②此種方式的優點為：數據較為穩定

此種方式的缺點為：磁鐵所吸引的迴紋針數很少，一旦迴紋針數大於 4 個以上，迴紋針就容易受重力影響而脫落，是測量磁鐵吸力大小的不利因素。為修正此缺點，我們嘗試第三種方法。

(3) 第三種方法：

①將 1-8 號磁鐵吸引一個個相互串連一起的迴紋針(圖 1-3)，觀察每個磁鐵所能吸引迴紋針數。



表 1-4：第三種方法各編號磁鐵所吸引的迴紋針數

磁鐵編號	1	2	3	4	5	6	7	8	
實驗次數	1	23	23	40	18	17	20	23	16
	2	23	23	40	18	17	20	23	16
	3	23	23	40	18	17	20	23	16
平均(個)		23	23	40	18	17	20	23	16

②此種方式的優點為：各磁鐵所能吸引迴紋針數的數據很穩定，迴紋針也不會因重力而掉落。

此種方式的缺點為：較費力費時，且不易分辨出不同磁鐵間吸力大小的差異。為修正此缺點，我們嘗試第四種方法。

(4) 第四種方法：

①將 1-8 號磁鐵上下方各吸引一鐵片，下方鐵片吊掛一塑膠瓶。將 BB 彈置入瓶中，直至磁鐵從鐵片上脫落為止。瓶中 BB 彈重量，代表該磁鐵吸力大小(如圖 1-4~1-5)。





圖 1-5：磁鐵上下方各吸引一鐵片，下方鐵片吊掛一塑膠瓶。瓶中所置入的 BB 彈重，即代表該磁鐵吸力大小。

表 1-5：第四種方法各編號磁鐵所能承受的 BB 彈重量

磁鐵編號	1	2	3	4	5	6	7	8	
實驗次數	1	92.95	107.00	261.35	73.10	86.84	61.82	53.96	30.38
	2	90.45	111.00	269.40	77.85	89.54	62.51	54.74	30.14
	3	97.20	102.69	275.93	68.82	83.73	60.00	57.88	30.95
平均(克)	93.53	106.90	268.90	73.26	86.70	61.44	55.53	30.49	

◎此種方式的優點為：數據的誤差值很小，且能依據瓶中 BB 彈重量確實區分各磁鐵的吸力大小。

此種方式的缺點為：非常費時。

此方法所得的數據較穩定且能顯示出每個磁鐵吸力的差異，因此以下的研究發現將以此數據為推論依據。

(三)研究發現：將磁鐵底面積、重量及磁鐵所能承受 BB 彈重關係圖以下圖 1-6~1-7 表示：

- (1) 1-8 號磁鐵其磁力大小依序為：3 號 > 2 號 > 1 號 > 5 號 > 4 號 > 6 號 > 7 號 > 8 號
- (2) 磁鐵的重量與磁鐵的吸力大小成正相關；磁鐵的重量越大，磁鐵的吸力也越大。其中 3 號磁鐵例外，是市面上所販售的強力磁。
- (3) 磁鐵的底面積與磁鐵的吸力大小成正相關；磁鐵的底面積越大，磁鐵的吸力也越大。但底面積相同時，磁鐵的厚度越厚，磁鐵的吸力越大。其中 3 號磁鐵例外，是市面上所販售的強力磁鐵。

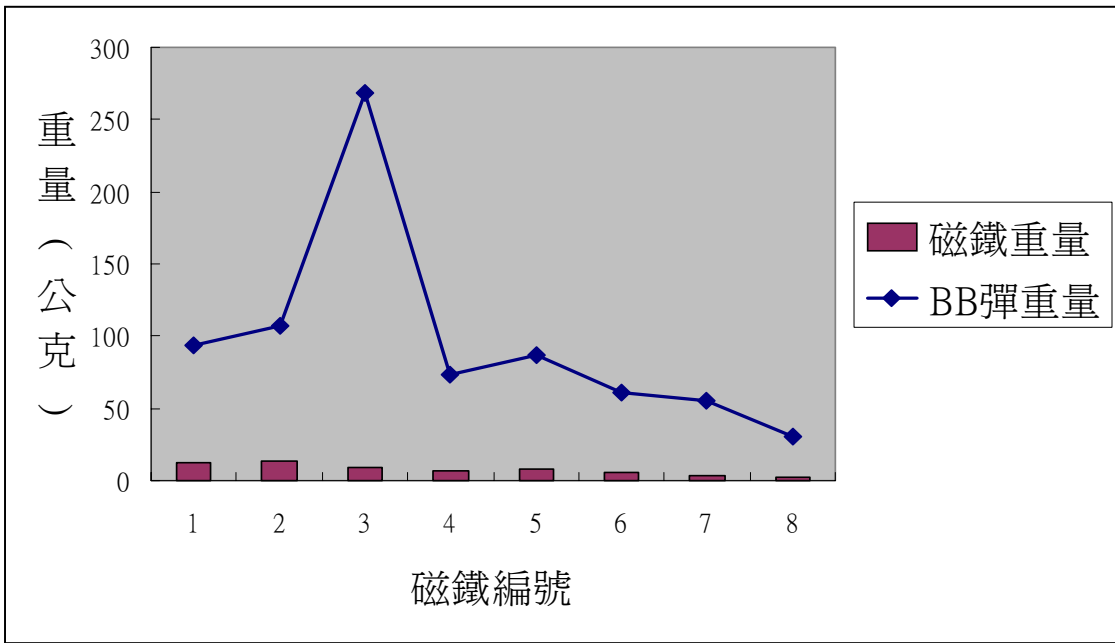


圖 1-6：1-8 號磁鐵重量與磁鐵下方鐵片所能承受 BB 彈重量關係圖。

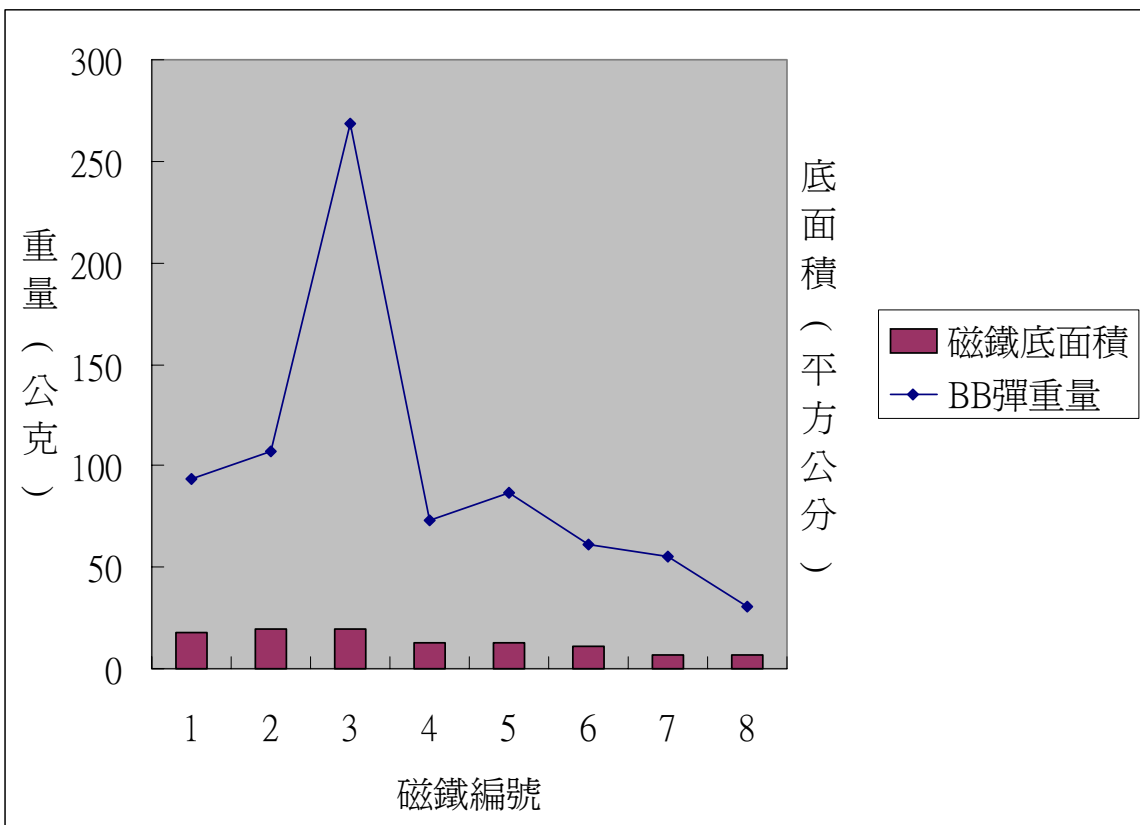


圖 1-7：1-8 號磁鐵底面積與磁鐵下方鐵片所能承受 BB 彈重量關係圖。

二、問題二：如何測量磁鐵和磁鐵間的斥力大小？



爲了研究此問題，我們嘗試了二種測量磁鐵斥力的不同方式，企圖找出最佳的實驗方法，提升實驗結果的精密度，以下是我們的研究歷程。

(一) 研究方法

1.1-8 號磁鐵各蒐集 14 個，同編號磁鐵以 1 個對 1 個、1 個對 2 個、1 個對 3 個……1 個對 N 個的方式，探討磁鐵間斥力大小的變化。

2.嘗試各種測量磁鐵和磁鐵間斥力的方式，並找出最適合的方法。

(二) 研究結果

爲了找出測量磁鐵和磁鐵間斥力最適合的方式，我們嘗試了各種方法：

1.第一種方法：利用木製軌道測量磁鐵間的斥力

①將磁鐵固定在木頭製軌道 A 端，另 1 磁鐵放在軌道 B 端，用手輕推 B 端磁鐵，使兩磁鐵靠在一起後放手，觀察 B 端磁鐵因斥力而彈開的距離（如圖 2-1~2-3）。以此步驟進行 1-8 號磁鐵的實驗，每個實驗重複操作三次，並將實驗數據記錄下來。

② B 端固定一磁鐵，A 端磁鐵數由 1 增至 N 個，直至 B 端磁鐵因斥力而彈開的距離不再改變，每實驗重複三次，以此步驟進行 1-8 號磁鐵試驗，結果如實驗日誌所示。

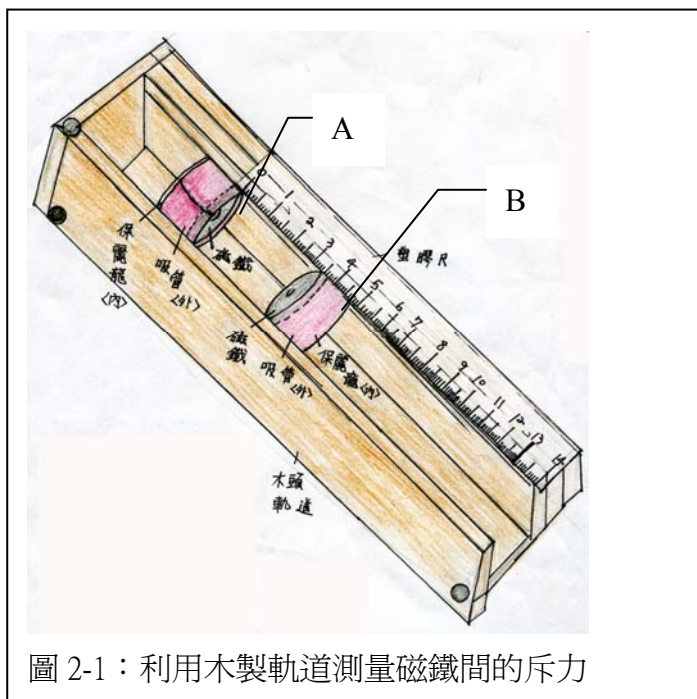


圖 2-1：利用木製軌道測量磁鐵間的斥力



圖 2-2：磁鐵裝置示意圖

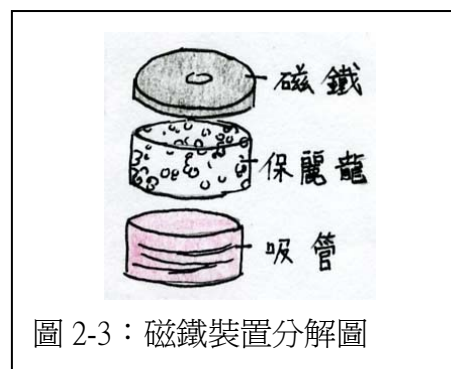


圖 2-3：磁鐵裝置分解圖

③A 端固定一磁鐵，B 端磁鐵數由 1 增至 N 個，直至 B 端磁鐵因斥力而彈開的距離不再改變，每實驗重複三次，以此步驟進行 1-8 號磁鐵的試驗，結果如實驗日誌所示。

④此種方式的優點為：可以移動木頭軌道兩側使軌道與磁鐵直徑大小相契合，操作上很方便。

此種方式的缺點為：每個實驗重複三次時，三次的實驗數據差距很大，我們推論是因用手輕推 B 端磁鐵，讓兩端磁鐵靠在一起，使其因斥力而彈開，但用手推的力道很難控制一樣，作用力與反作用力加上斥力彈開的關係，使所得的數據準確度很低。另外，磁鐵與軌道間的磨擦力很大，也使得實驗的誤差更大。為了修正此缺點，我們嘗試第二種方法。

2.第二種方法：利用試管測量磁鐵間的斥力

①用廣用夾夾住一口徑 3 公分試管，並架在鐵夾上。用雲彩紙及瓦楞紙包覆磁鐵外圍，再將磁鐵以同極相斥的狀態置於試管中，測量兩個磁鐵因相斥而彈開的距離。(如圖 2-4~2-6 所示。)

②底端磁鐵從 1 增至 10 個，上端磁鐵維持一個，以此設計進行編號 1-8 號磁鐵的實驗，測量磁鐵因相斥而彈開的距離，每個實驗重複三次，實驗結果如表 2-1。

③上端磁鐵從 1 增至 14 個，底端磁鐵維持一個，以此設計進行編號 1-8 號磁鐵的實驗，測量磁鐵因相斥而彈開的距離，每個實驗重複三次，實驗結果如表 2-2。

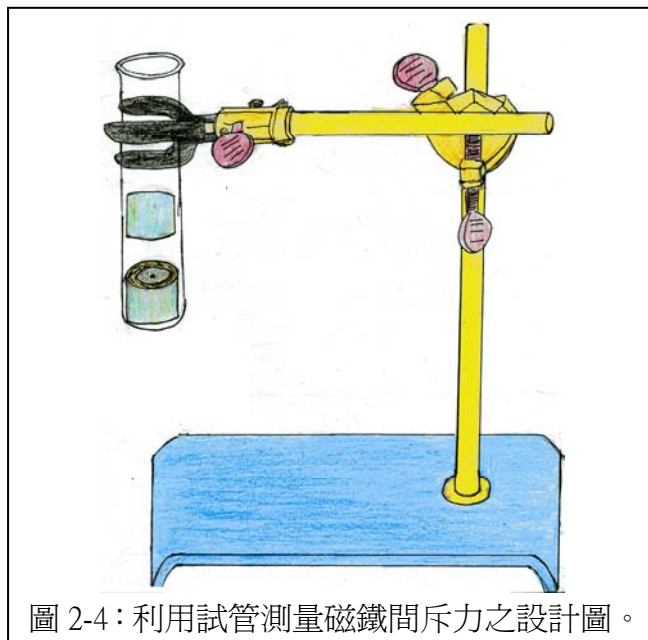
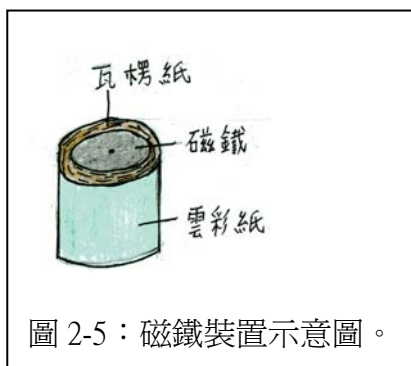


表 2-1：試管中下方磁鐵數與相斥距離關係表

相斥 距離 下方磁鐵數	磁鐵 編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1		1.4	1.8	×	1.4	1.4	1.2	1	0.9
2		1.9	2.2	×	1.7	1.7	1.5	1.2	1.2
3		2.1	2.4	×	1.9	2	1.8	1.3	1.3
4		2.2	2.5	×	1.9	2.2	1.9	1.4	1.4
5		2.3	2.7	×	2	2.2	2	1.4	1.5
6		2.3	2.7	×	2.1	2.2	2.1	1.4	1.5
7		2.3	2.7	×	2.1	2.2	2.1	1.4	1.5
8		2.3	2.7	×	2.1	2.2	2.1	1.4	1.5
9		2.3	2.7	×	2.1	2.2	2.1	1.4	1.5
10		2.3	2.7	×	2.1	2.2	2.1	1.4	1.5

表 2-2：試管中上方磁鐵數與相斥距離關係表

相斥 距離 上方磁鐵數	磁鐵 編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1		1.4	1.8	×	1.4	1.4	1.2	1	0.9
2		1.2	1.6	×	1.2	1.2	1.1	0.9	0.8
3		1	1.4	×	1.1	1.1	1	0.8	0.7
4		0.9	1.2	×	0.9	1	0.9	0.7	0.6
5		0.8	1	×	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5
6		0.7	0.9	×	0.6	0.7	0.6	0.6	0.3
7		0.6	0.8	×	0.5	0.6	0.3	0.5	0.2
8		0.4	0.7	×	0.3	0.5	0.3	0.3	0
9		0.3	0.6	×	0.2	0.4	0.2	0	0
10		0.3	0.5	×	0.1	0.3	0.1	0	0
11		0.3	0.4	×	0.1	0.3	0	0	0
12		0.3	0.3	×	0	0.3	0	0	0
13		0.3	0.2	×	0	0.2	0	0	0
14		0.3	0.2	×	0	0	0	0	0

④此方法的優點：每三次實驗數據都一樣，數據穩定度很高。因本方法所得的數據較穩定且能顯示出每個磁鐵斥力的差異，因此以下研究發現將以此數據為推論依據。

此方法的缺點：爲了讓每個直徑大小不同的磁鐵都能平穩的放在試管中，因此必須在不同編號的磁鐵外圍黏上瓦楞紙及雲彩紙，再觀察上下端磁鐵因相斥而產生的距離，非常費時。

(三) 研究發現

(1) 將表 2-3 繪製成圖 2-7 後發現：

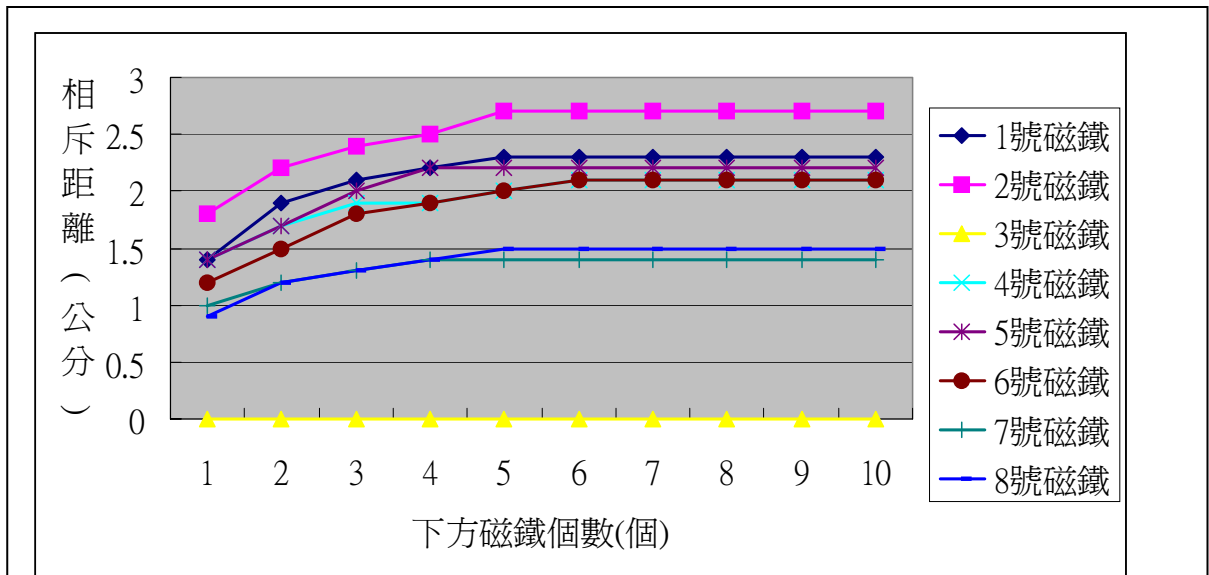


圖 2-7：試管中 1-8 號磁鐵下方磁鐵數與相斥距離關係圖

- ① 3 號強力磁鐵沒有辦法和另一個磁鐵產生斥力，所以其相斥的距離為 0 公分。
- ② 1-8 號磁鐵增加下方的磁鐵數到達一個數值時，磁鐵間相斥的距離就不再繼續增加，維持一個穩定值，這穩定值從大到小的順序為：2 號 > 1 號 > 4 號 > 6 號 > 5 號 > 7 號 > 8 號 > 3 號，其中重量和底面積最大的 2 號磁鐵，所造成的穩定相斥距離最大，為 2.7 公分。
- ③ 1-8 號磁鐵增加下方的磁鐵數到達某一個數值時，磁鐵間相斥的距離就不再繼續增加，達到一個最佳的穩定值，我們推論這也是磁鐵為什麼不用太厚的原因，因為磁鐵增至某一厚度時，就能達到最佳的吸力或斥力效果。

(2) 將表 2-4 繪製成圖 2-8 後發現

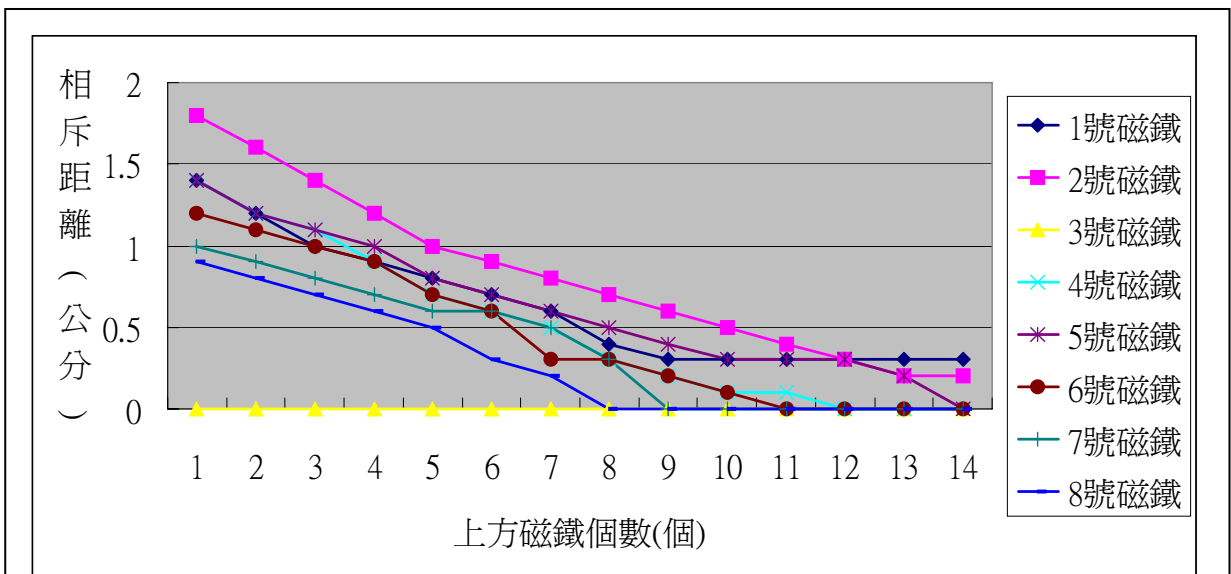


圖 2-8：試管中 1-8 號磁鐵上方磁鐵數與相斥距離關係圖

- ①每增加一個上方磁鐵，磁鐵間相斥的距離就會減少，當 4、5、6、7、8 號磁鐵的上方磁鐵數增至 12、14、11、9、8 個時，磁鐵間相斥的距離就變成 0 公分。
- ②每增加一個上方磁鐵，磁鐵間相斥的距離就會減少，當 1、2 號磁鐵的上方磁鐵數增至 14 個時，磁鐵間相斥的距離還維持 0.3 公分、0.2 公分。
- ③1-8 號磁鐵增加上方的磁鐵個數，會縮減磁鐵間相斥的距離，我們推論是因為上方磁鐵累積的重力大於磁鐵間所產生的斥力所導致的結果。



磁鐵間所產生的「斥力」到底有多重呢？

從問題二所得的推論中，知道在試管中增加上方磁鐵時，所累積的磁鐵重力會抵消磁鐵間所產生的斥力，卻引發我們想探討磁鐵間所產生的「斥力」到底有多重呢？為了解開這個疑惑，我們有了實驗三的設計。

三、問題三：磁鐵間所產生的斥力是否可轉換成重量的形式來表示？

(一) 研究方法

- 1.利用廣用夾、鐵架、魔鬼粘、磁鐵、電子秤等器材，設計一測量磁鐵斥力的裝置(如圖 3-1~3-2)。
- 2.取一磁鐵置於電子秤上，另一同號磁鐵利用魔鬼粘粘在廣用夾上，兩磁鐵呈相斥狀態，移動廣用夾的高度使廣用夾上的磁鐵與電子秤上的磁鐵相距 1 公分、2 公分……13 公分，觀察兩磁鐵因相斥而使力於電子秤上的重量。以此設計進行編號 1-8 號磁鐵的試驗。

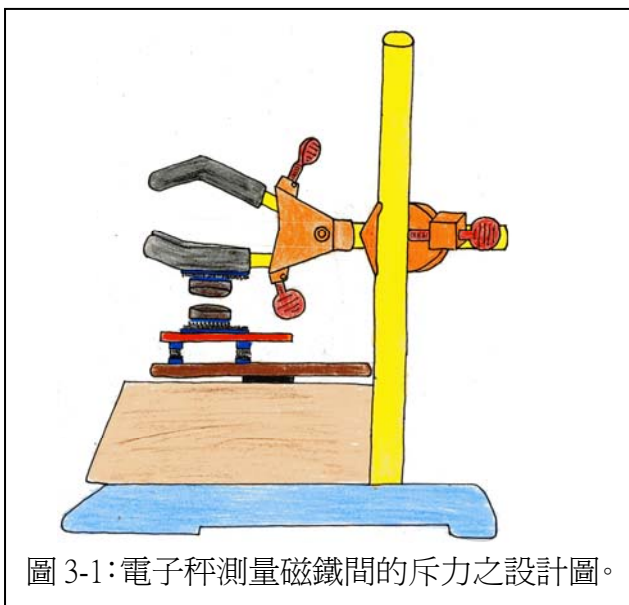


圖 3-1: 電子秤測量磁鐵間的斥力之設計圖。



圖 3-2: 使用電子秤測量磁鐵間的斥力。

(二) 研究結果

我們將 1-8 號磁鐵在不同高度下因磁鐵間的斥力而使力於電子秤上的重量整理成下表 3-1：

表 3-1：1-8 號磁鐵在不同高度下因磁鐵間斥力的不同而使力於電子秤上的重量表

斥力重 (g) 相距高度	1	2	3	4	5	6	7	8
1 cm	20.20	35.47	×	12.31	17.93	12.67	4.96	0.57
2 cm	6.29	10.61	×	2.98	4.61	2.58	0.88	0.16
3 cm	2.62	3.83	×	1.07	1.50	0.76	0.31	0.06
4 cm	1.15	1.63	×	0.43	0.59	0.37	0.13	0.02
5 cm	0.60	0.95	×	0.18	0.28	0.16	0.06	0
6 cm	0.33	0.49	×	0.09	0.16	0.07	0.05	0
7 cm	0.21	0.30	×	0.05	0.10	0.03	0.02	0
8 cm	0.13	0.18	×	0.02	0.07	0	0	0
9 cm	0.08	0.12	×	0	0.05	0	0	0
10 cm	0.05	0.09	×	0	0.02	0	0	0
11 cm	0.02	0.06	×	0	0	0	0	0
12 cm	0	0.02	×	0	0	0	0	0
13cm	0	0	×	0	0	0	0	0

(三) 研究發現

我們將表 3-1 繪製成下圖 3-3 後，發現：

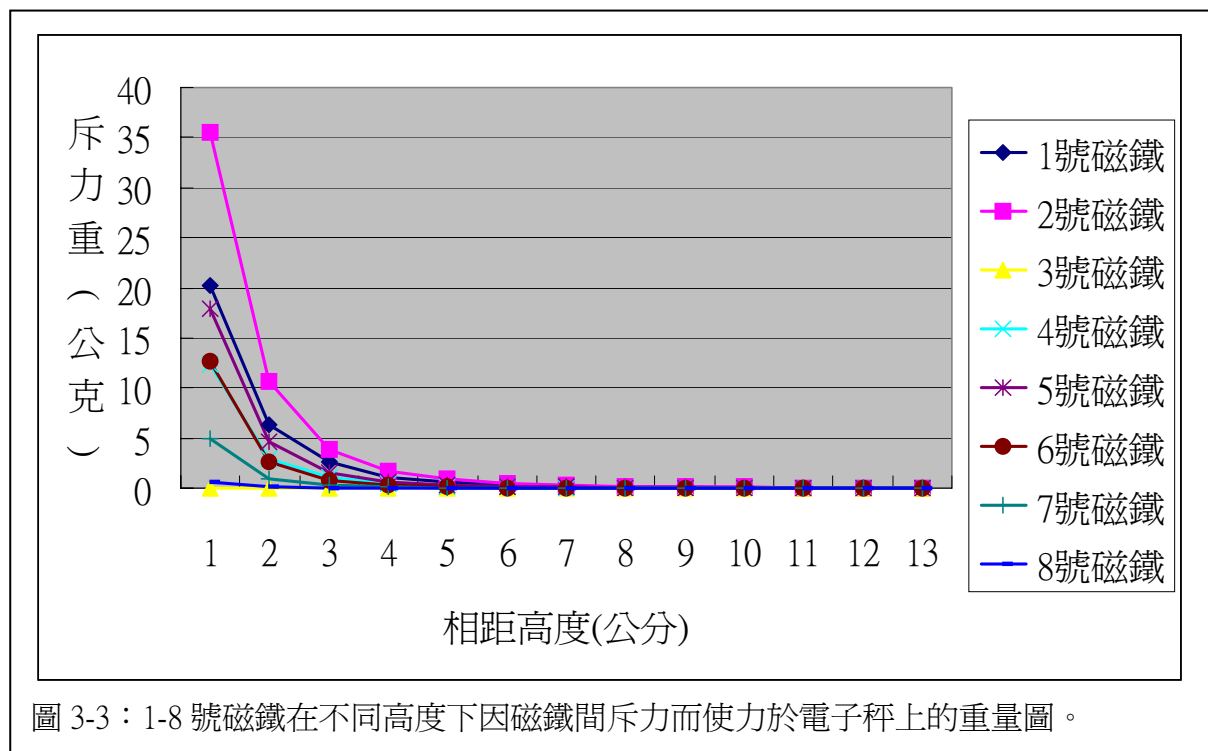


圖 3-3：1-8 號磁鐵在不同高度下因磁鐵間斥力而使力於電子秤上的重量圖。

1. 兩磁鐵間的距離越靠近，磁鐵間的斥力也越強，而使力於電子秤上的重量也越大。
2. 1、2、4、5、6、7、8 號磁鐵間相距 1 公分時，電子秤螢幕上顯現出的斥力重刻度為 20.20 公克、35.47 公克、12.31 公克、17.93 公克、12.67 公克、4.96 公克、0.57 公克，可得斥力從大到小的順序為：2 號 > 1 號 > 5 號 > 6 號 > 4 號 > 7 號 > 8 號。其中，重量及底面積最大的 2 號磁鐵的斥力重最大。
3. 1、2、4、5、6、7、8 號磁鐵間相距 12、13、9、11、8、8、5 公分時，電子秤螢幕顯現出重量刻度為 0 公克，表示此時磁鐵間沒有斥力產生。

四、問題四：如何利用磁鐵間斥力存在的特性設計秤重裝置？



在實驗三中，我們成功的將磁鐵間的斥力轉換成重量的形式，那這樣的「力」可以用來承載重量嗎？承載重量時又會有什麼變化呢？為了解答心中的疑惑，我們有了實驗四的設計。

(一) 研究方法

1. 將 5 個 2 號磁鐵及 1 個 2 號磁鐵，依相斥的方向黏在塑膠瓦楞板上，並利用竹筷子、吸管、尺設計成一秤重裝置，如圖 4-1~4-2。
2. 在淺盤上放置砝碼，從 0 公克開始，每次增加 5 公克砝碼的重量，觀察兩磁鐵間相斥距離的變化。

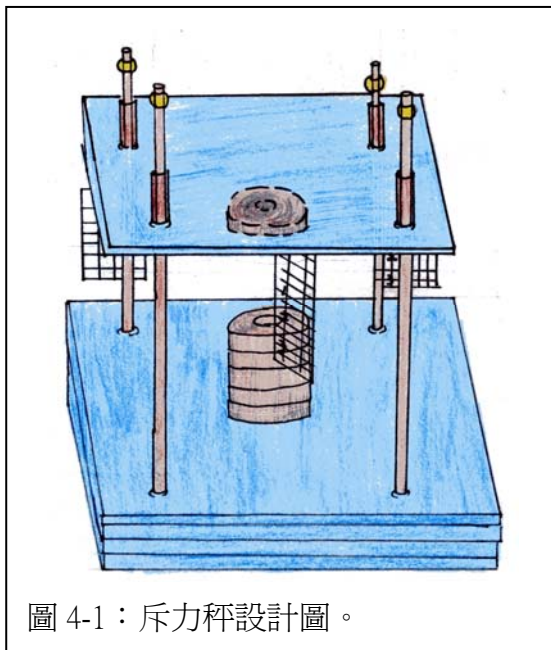


圖 4-1：斥力秤設計圖。



圖 4-2：依設計圖製作斥力秤，並用砝碼測試斥力秤。

(二) 研究結果

表 4-1：淺盤上砝碼重量和磁鐵相斥距離的關係表

砝碼重量 (g)	磁鐵相斥距離 (cm)	砝碼重量 (g)	磁鐵相斥距離 (cm)
0	2.2	105	0.3
5	2	110	0.2
10	1.8	115	0.2
15	1.6	120	0.1
20	1.4	125	0.1
25	1.2	130	0~0.1
30	1	135	0~0.1
35	1	140	0~0.1
40	0.9	145	0~0.1
45	0.9	150	0~0.1
50	0.8	155	0~0.1
55	0.8	160	0~0.1
60	0.7	165	0~0.1
65	0.7	170	0~0.1
70	0.6	175	0~0.1
75	0.6	180	0~0.1
80	0.5	185	0~0.1
85	0.5	190	0~0.1
90	0.4	195	0
95	0.4		
100	0.3		

(三) 研究發現

- 1.當淺盤上的重量為 0 時，兩磁鐵間相斥的距離最大為 2.2 公分。
- 2.當砝碼 0~ 30 公克重時，兩磁鐵間相斥的距離介於 1~2.2 公分。每增加 5 公克，磁鐵的相斥距離就減少 0.2 公分。
- 3.當砝碼 30~ 125 公克重時，兩磁鐵間相斥的距離介於 0.2~1 公分。每增加 10 公克，磁鐵的相斥距離就減少 0.1 公分。
- 4.當砝碼 125~190 公克重時，兩磁鐵間相斥的距離介於 0~0.1 公分。
- 5.當砝碼大於或等於 195 公克重時，兩磁鐵間相斥的距離為 0 公分。
- 6.上述實驗結果，我們發現可以利用磁鐵等簡單的器材製作斥力秤來估測物體的重量。而這樣的斥力秤有體積小、重量輕、製作方便等優點。



如何利用磁鐵間斥力存在的特性設計重量緩衝裝置？

在實驗四中，我們觀察到當砝碼放在淺盤中時，一開始淺盤會因為承受重量而往下沉，但接著會因為兩磁鐵間所產生的斥力而往上浮，等上下晃動一會兒後才會在某一高度處停下來。有了這樣的觀察心得，引起我們想利用磁鐵間斥力存在的特性設計一重量緩衝裝置。

我們使用光碟布丁盒底座當作支架，以一片光碟當作承載重量的面盤，首先，決定底座磁鐵的排列方式，再嘗試找出面盤上各種磁鐵排列的方式（圖 4-3），希望得到底座和面盤可因磁鐵間所產生的斥力而呈現分離且平穩的狀態，歷經許多次嘗試錯誤後，終於找到成功的方式（表）。

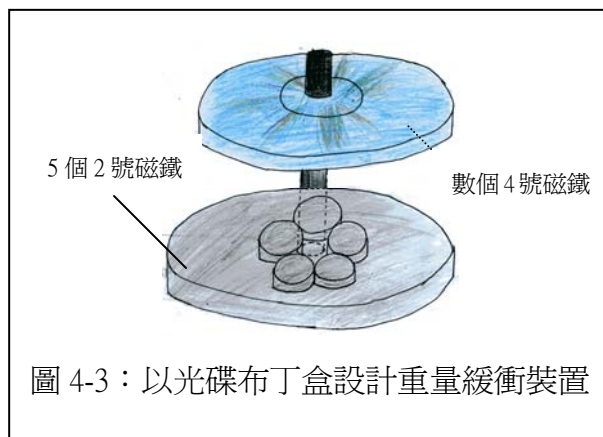


圖 4-3：以光碟布丁盒設計重量緩衝裝置

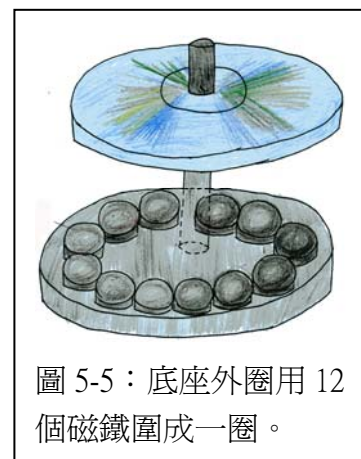
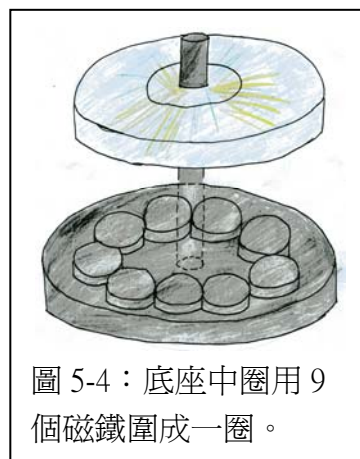
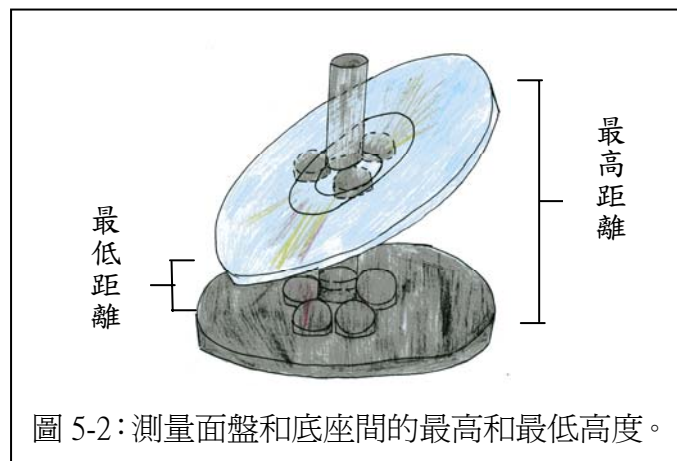
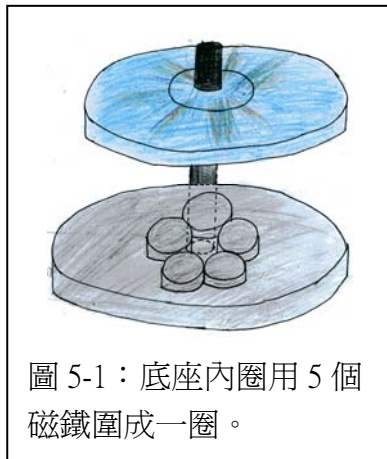
表 4-2：面盤磁鐵的各種排列圖示及其失敗或成功的原因說明表

方式	面盤磁鐵的排列圖示	說 明	成功/失敗 的原因
1		4 個磁鐵排成四角形，靠近內圈。	● 失敗 因為上方面盤磁鐵的邊緣會與下方磁鐵的邊緣相吸，所以光碟片與下方底座整個相吸，無法因斥力而產生距離。
2		4 個磁鐵排成大四角形，靠近外圈。	
3		6 個磁鐵，4 個磁鐵靠近內圈排成小正方形，2 個磁鐵排在外圈。	
4		8 個磁鐵，排在外圈。	● 成功 上方面盤的磁鐵與下方底座的磁鐵上下對稱排列，所以磁鐵間能成功的產生斥力，使上方面盤浮起。
5		4 個磁鐵圍成一圈，靠近內圈。	

五、問題五：磁鐵的個數是否會影響重量緩衝裝置所能承載的重量？

(一) 研究方法

- 1.以光碟布丁盒為重量緩衝裝置的底座，底座的磁鐵排列方式內圈以 5 個 2 號磁鐵環繞成一圈（如圖 5-1）。
- 2.上面以一光碟片當作重量緩衝裝置的面盤，在光碟片下以上下對稱的方式黏貼 1~5 個 4 號磁鐵，將面盤從上端放手，讓面盤因重力落下，觀察此重量緩衝裝置的平衡度，測量面盤和底座間的最高和最低高度（如圖 5-2），並用砝碼測試此緩衝裝置所能承載的重量（如圖 5-3）。
- 3.底座的磁鐵排列方式再以內圈為 9 個 2 號磁鐵環繞成一圈（如圖 5-4），在光碟片下以上下對稱的方式黏貼 1~12 個 4 號磁鐵，以同樣的方式觀察平衡度以及所能承載的重量。
- 4.底座的磁鐵排列方式再以內圈為 12 個 2 號磁鐵圍繞成一圈（如圖 5-5），在光碟片下以上下對稱的方式黏貼 1~15 個 4 號磁鐵，以同樣的方式觀察平衡度以及所能承載的重量。



(二) 研究結果

表 5-1：內圈面盤磁鐵個數與相斥距離及承載重量關係表


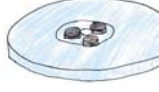


面盤磁鐵個數		1	2	3	4	5
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	1.9	2.8	1.8	2.4	2.3
	最低	0.5	0.8	1.2	2.1	2.2
	相差	1.4	2	0.6	0.3	0.1
上方面盤總重 (g)		22.43	29.51	36.41	43.58	50.6
承載砝碼重量 (g)		0	0	21	36	48
上方面盤總重+砝碼重 (g)		22.43	29.51	57.41	79.58	98.6
情形描述		面盤落下時，面盤上的磁鐵會吸附在底座上的任二個磁鐵間，又因面盤上只有一個磁鐵，所以會造成高度不均衡的情形。	面盤落下時，面盤上的磁鐵會與底座上的磁鐵間因相斥而產生距離，但是因斥力無法承受面盤上的重量致使沒有磁鐵的任一端面盤會下沉，所以會造成高度不均衡的情形。	面盤落下時，面盤上的磁鐵會與底座上的磁鐵間因相斥而產生距離，面盤也會因而浮起一段高度。	面盤落下時，面盤上的磁鐵會與底座上的磁鐵間因相斥而產生距離，面盤也會因而浮起一段高度。	面盤落下時，面盤上的磁鐵會與底座上的磁鐵間因相斥而產生距離，面盤也會因而浮起平穩高度。

表 5-2：中圈面盤磁鐵個數與相斥距離及承載重量關係表

面盤磁鐵個數		1	2	3	4	5
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	1.8	2.8	2.3	2.5	2.5
	最低	0.5	0.9	2.1	1.6	2.3
	相差	1.3	1.9	0.2	0.9	0.2
上方面盤總重 (g)		22.43	29.51	36.41	43.58	50.6
承載砝碼重量 (g)		0	0	42	80	94
上方面盤總重+砝碼重 (g)		22.33	29.51	78.41	123.58	144.6
情形描述		面盤落下時，面盤上的磁鐵會吸附在底座上的任二個磁鐵間，又因面盤上只有一個磁鐵，所以會造成高度不均衡的情形。	面盤落下時，面盤上的磁鐵會與底座上的磁鐵間因相斥而產生距離，但是因斥力無法承受面盤上的重量致使沒有磁鐵的任一端面盤會下沉，所以會造成高度不均衡的情形。	面盤落下時的某一個角度，面盤會呈現最平穩的浮起狀態。此時面盤上的三個磁鐵通通都會對應在底座的磁鐵面上。	面盤上的四個磁鐵有的會對應在底座的磁鐵面上，有的會對應在磁鐵和磁鐵的間距上。	面盤上每個磁鐵的一小部份會對應在磁鐵和磁鐵的間距上。

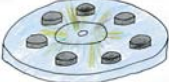
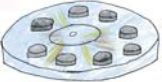


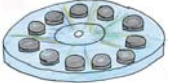

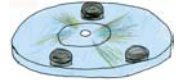
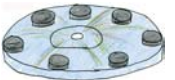

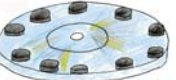
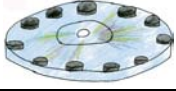

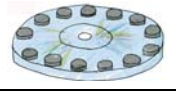


面盤磁鐵個數		6	7	8	9	10
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	2.6	2.6	2.4	2.5	2.3
	最低	2.3	2.4	2.3	2.4	1.7
	相差	0.3	0.2	0.1	0.1	0.6
上方面盤總重 (g)		58.22	65.18	72.02	80.08	86.79
承載砝碼重量 (g)		123	157	162	146	130
上方面盤總重+砝碼重 (g)		181.22	222.18	234.02	174.08	216.79
情形描述		面盤上的六個磁鐵有的大多會對應在底座的磁鐵面上,有少數個會對應在磁鐵和磁鐵的間距上。	面盤上的七個磁鐵有的大多會對應在底座的磁鐵面上,有少數個會對應在磁鐵和磁鐵的間距上。	面盤上的八個磁鐵有的會對應在底座的磁鐵面上,有的會對應在磁鐵和磁鐵的間距上。	面盤上的九個磁鐵有的會對應在底座的磁鐵面上,有的會對應在磁鐵和磁鐵的間距上。	面盤上的十個磁鐵少部分對應在底座的磁鐵面上,大部份對應在磁鐵和磁鐵的間距上。
面盤磁鐵個數		11	12			
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	2.4	2.4			
	最低	2.4	2.4			
	相差	0	0			
上方面盤總重 (g)		93.36	99.97			
承載砝碼重量 (g)		220	261			
上方面盤總重+砝碼重 (g)		313.36	360.97			
情形描述		面盤上的 11 個磁鐵幾乎能完全對應在底座的磁鐵面上。	面盤上的 12 個磁鐵幾乎能完全對應在底座的磁鐵面上。			

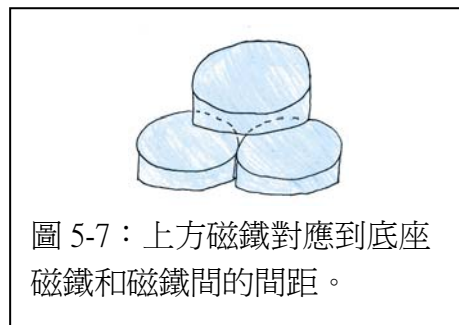
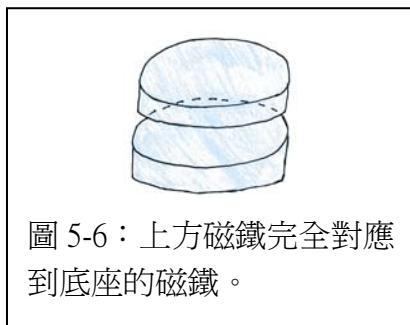
表 5-3：外圈面盤磁鐵個數與相斥距離及承載重量關係表

面盤磁鐵個數		1	2	3	4	5
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	2.4	2.6	2.1	2.3	2.5
	最低	0.6	1.1	1.9	2	1.9
	相差	1.8	1.5	0.2	0.3	0.6
上方面盤總重 (g)		22.43	29.51	36.41	43.58	50.6
承載砝碼重量 (g)		0	0	17	27	52
上方面盤總重 + 砝碼重 (g)		22.43	29.51	53.41	70.58	102.6
情形描述		面盤落下時，面盤上的磁鐵會吸附在底座上的任二個磁鐵間，又因面盤上只有一個磁鐵，所以會造成高度不均衡的情形。	面盤落下時，面盤上的磁鐵會與底座上的磁鐵間因相斥而產生距離，但是因斥力無法承受面盤上的重量致使沒有磁鐵的任一端面盤會下沉，所以會造成高度不均衡的情形。	面盤上的 3 個磁鐵幾乎完全對應在底座磁鐵間的間距上。	面盤上的 4 個磁鐵幾乎完全對應在底座磁鐵間的間距上。	上方磁鐵對應到底座磁鐵面上的浮起高度較高，上方磁鐵對應到底座磁鐵間距的浮起高度較低。
面盤磁鐵個數		6	7	8	9	10
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	2.3	2.6	2.4	2.5	2.7
	最低	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
	相差	0	0.2	0	0.1	0.3
上方面盤總重 (g)		58.22	65.18	72.02	80.08	86.79
承載砝碼重量 (g)		85	100	127	194	218
上方面盤總重 + 砝碼重 (g)		143.22	165.18	199.02	274.08	304.79
情形描述		面盤上的 6 個磁鐵幾乎完全對應在底座磁鐵間的間距上。砝碼到 50 公克重時，面盤上的磁鐵會被底座上的磁鐵吸住。	面盤上的 7 個磁鐵大部份對應在底座磁鐵間的間距上。	面盤上的 8 個磁鐵幾乎都對應在底座磁鐵面上。	面盤上的 9 個磁鐵一半對應在底座磁鐵面上，一半對應在底座磁鐵的間距上。	面盤上的 10 個磁鐵，有 1/3 對應在底座磁鐵面上，有 1/3 磁鐵對應在底座磁鐵的間距上，有 1/3 磁鐵大部分的面積都對應在磁鐵的面上。

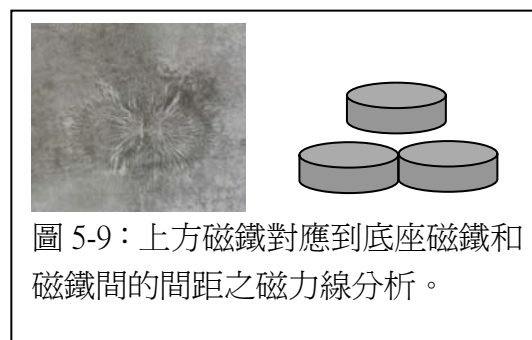
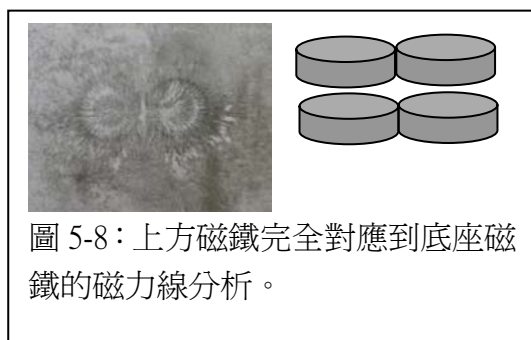
面盤磁鐵個數		11	12	13	14	15
排列樣式						
面盤和底座間的高度 (cm)	最高	2.6	2.7	2.8	2.6	2.9
	最低	2.5	2.6	2.6	2.4	2
	相差	0.1	0.1	0.2	0.2	0.9
上方面盤總重 (g)		93.36	99.97	107.33	114.77	121.59
承載砝碼重量 (g)		210	182	200	270	292
上方面盤總重+砝碼重 (g)		303.36	281.97	307.33	384.77	413.59
情形描述		面盤上的 11 個磁鐵大部份對應在底座磁鐵間距上。	面盤上的 12 個磁鐵都對應在底座磁鐵間距上。砝碼到 182 公克重時，面盤上的磁鐵會被底座上的磁鐵吸住。	面盤上的 13 個磁鐵大部份對應在底座磁鐵面上，只有少數磁鐵在底座的磁鐵間距上。	面盤上的 14 個磁鐵一半對應在底座磁鐵面上，一半對應在底座磁鐵間距上。	有些磁鐵在底座磁鐵間距，有些磁鐵則在底座磁鐵面上。

(三) 研究發現

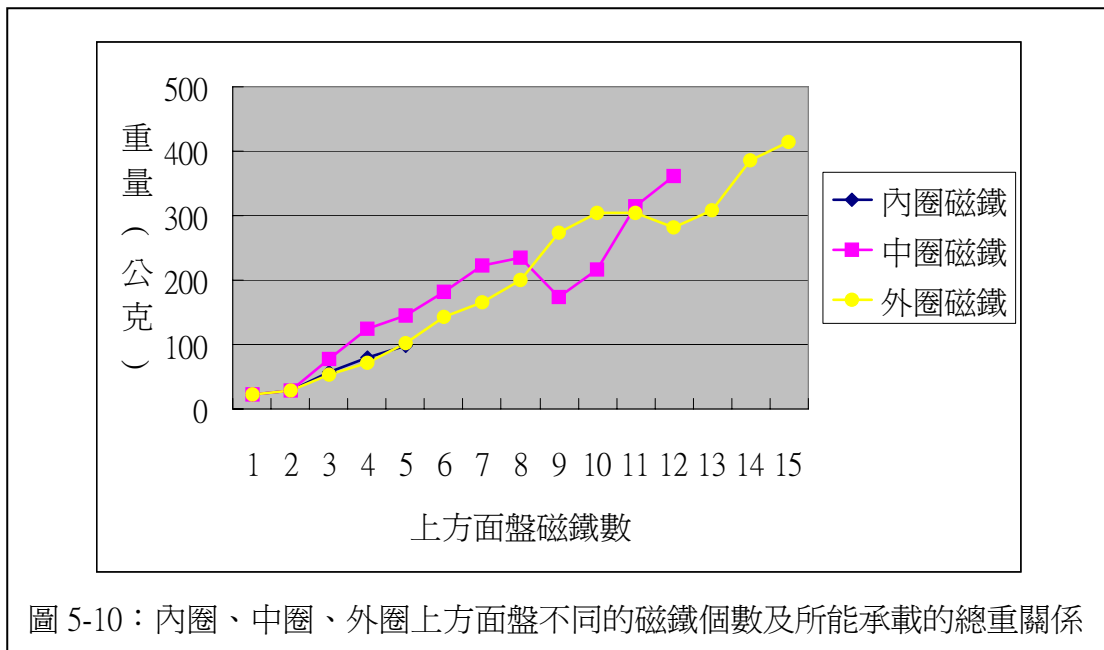
1. 上方磁鐵若能完全對應到底座的磁鐵，面盤因斥力而浮起的高度較高（如圖 5-6）；上方磁鐵若對應到底座磁鐵和磁鐵間距，面盤因斥力而浮起的高度較低（如圖 5-7）。



2. 因為上述的發現，我們對此作詳細的磁力線分析，以觀察磁力線消長的情形。



3. 上方面盤的磁鐵 ≥ 3 個時，面盤才能成功的因斥力而浮起來，且磁鐵越多，面盤因斥力而浮起的情況越平穩（最高距離和最低距離的差距最小）。
4. 將內圈、中圈、外圈上方面盤不同的磁鐵個數以及所能承載的總重之實驗數據整理成下圖 5-10，發現：

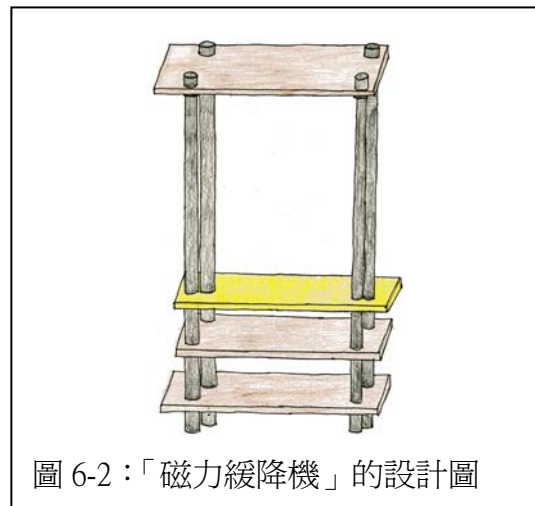


- (1) 內圈、中圈、外圈上方面盤的磁鐵數 ≥ 3 個時，面盤才能成功的因斥力而浮起來，此時也才可以開始承載砝碼的重量。
- (2) 內圈、中圈、外圈上方面盤的磁鐵數越多，所能承載的總重量（上方面盤 + 磁鐵重 + 砝碼重）越重。其中，中圈上方磁鐵數為 9、10 個以及外圈上方磁鐵數為 12、13 個時例外，因為在這四種情形下，上方磁鐵的排列方式都恰好對應在底座磁鐵間間距上，產生的斥力較弱，所以上面面盤能承載的重量較低。
- (3) 從折線圖中可看出，上方面盤磁鐵排列在「中圈」的方式可以承受較重的重量。

六、問題六：如何利用磁鐵的特性打造一個理想的「磁力緩降機」？

(一) 研究方法

1. 依據先前對磁鐵磁力及斥力的研究結果與研究發現，又有之前用光碟布丁盒模擬緩衝裝置（如圖6-1）的經驗，我們先構思心目中「磁力緩降機」的設計圖（如圖6-2），並和老師一同將想法化為具體行動，利用各種工具和材料製作出設計圖中的「磁力緩降機」，並嘗試找出「磁力緩降機」磁鐵組合的最佳方式，經過不斷的嘗試、失敗，直到找出可行的方式理想的形式。



2. 變換「磁力緩降機」落下時四周的軌道，觀察哪一種軌道磁鐵的排列方式能讓「磁力緩降機」落下時的衝撞程度最小。
3. 將 18 個方瓦裝在一低矮的盒子裡，並將之置放在「磁力緩降機」的淺盤上（如圖 6-3），待淺盤從「磁力緩降機」頂部落下到底部時，觀察方瓦散置的方式來推測衝撞程度。



圖 6-3：在「磁力緩降機」的淺盤上放 18 個方瓦。

4. 在淺盤下加裝簽字筆當作指針，在鐵架上黏貼白紙，待淺盤從「磁力緩降機」頂部落下到底部時，由簽字筆遺留在白紙上的軌跡來推測淺盤落下的情形及衝撞程度。
5. 聆聽「磁力緩降機」淺盤自頂部落下到底部時所發出的聲音。

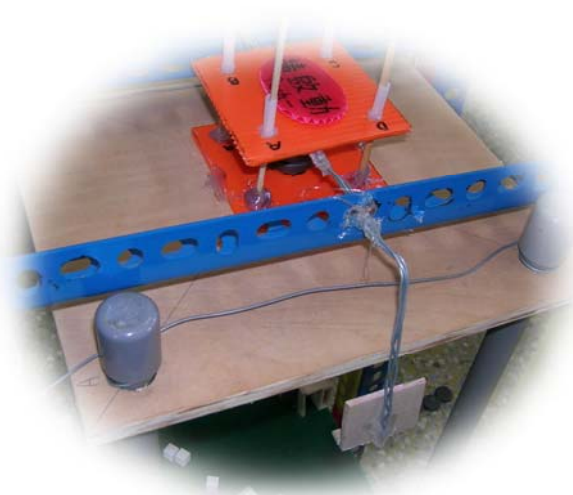
（二）研究結果



圖 6-4：第一代磁力緩降機



圖 6-5：第二代磁力緩降機



一按緩降機上的啓動器，淺盤就會落下來。



簽字筆可在淺盤落下時在白紙上留下軌跡。



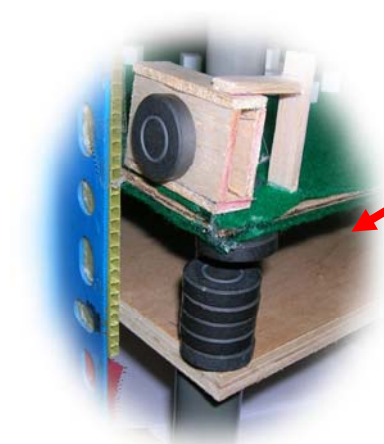
緩降機四周可替換磁鐵軌道。



圖 6-6：第三代磁力緩降機

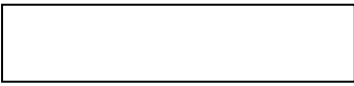
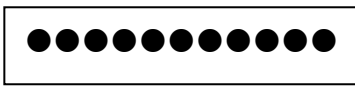
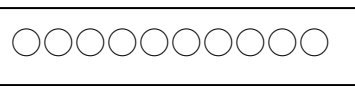





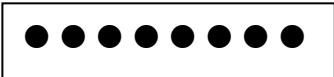
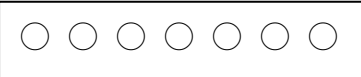
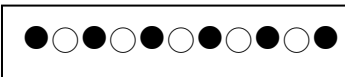



從淺盤上方瓦的散置方式可推測衝撞程度。



淺盤下的磁鐵和底座上的磁鐵相斥，可減緩衝力。

表 6-1：「磁力緩降機」在不同軌道樣式下方瓦、軌跡、聲音變化關係表

軌道形式		1			2			3		
軌道樣式										
樣式說明		沒有磁鐵			軌道上的磁鐵與淺盤邊的磁鐵成相吸的狀態，軌道上的磁鐵是一個緊鄰著一個排列。			軌道上的磁鐵與淺盤邊的磁鐵成相斥的狀態，軌道上的磁鐵是一個緊鄰著一個排列。		
方瓦的散置情形	淺盤外	7	9	4	3	3	2	0	0	0
	淺盤上	9	6	10	10	12	11	6	4	8
	盒子裡	2	3	4	5	3	5	12	14	10
	方瓦圖片	圖 6-7	圖 6-8	圖 6-9	圖 6-10	圖 6-11	圖 6-12	圖 6-13	圖 6-14	圖 6-15
白紙軌跡變化										
聲音變化		發出大的「碰」聲			發出小的「碰」聲			發出很小的「碰」聲		
情形描述		<ol style="list-style-type: none"> 1.方瓦留在盒子裡的數量相當少。 2.由於落下十分迅速，導致簽字筆所留下的軌跡較淡，幾乎看不太清楚。 3.淺盤落下時呈現十分清楚的撞擊震盪痕跡，且撞擊的幅度相當大。 			<ol style="list-style-type: none"> 1.方瓦掉落在淺盤上的數量相當多。 2.落下時軌跡呈現左右擺盪的情形。 3.落下時撞擊震盪幅度相當大。 			<ol style="list-style-type: none"> 1.2/3 方瓦大多留在盒子內。 2.落下時幾乎垂直下落。 3.減緩撞擊力的效果最好。 		

軌道形式		4			5			6		
軌道樣式										
樣式說明		軌道上的磁鐵與淺盤邊的磁鐵成相吸的狀態，軌道上磁鐵和磁鐵間相距 2.5 公分。			軌道上的磁鐵與淺盤邊的磁鐵成相斥的狀態，軌道上磁鐵和磁鐵間相距 2.5 公分。			軌道上的磁鐵與淺盤邊的磁鐵成相吸--相斥--相吸--相斥……的狀態，軌道上的磁鐵是一個緊鄰著一個排列。		
方瓦的散置情形	淺盤外	2	2	3	0	1	1	0	0	0
	淺盤上	11	12	10	10	8	8	7	8	8
	盒子裡	5	4	5	8	9	9	11	10	10
	方瓦圖片	圖 6-16	圖 6-17	圖 6-18	圖 6-19	圖 6-20	圖 6-21	圖 6-22	圖 6-23	圖 6-24
白紙軌跡變化										
聲音變化		發出較大的「碰」聲			發出些微的「碰」聲			沒有聲音		
情形描述		<ol style="list-style-type: none"> 1.方瓦大多掉落在淺盤上。 2.淺盤呈現左右擺盪情形。 3.淺盤落下時無明顯位移顯示十分平穩。 			<ol style="list-style-type: none"> 1.大概一半的方瓦落在淺盤上，一半的方瓦留在盒子裡。 2.淺盤幾乎垂直下落。 3.淺盤落下時震盪幅度約 0.5 公分，顯示十分平穩，效果也不錯。 			<ol style="list-style-type: none"> 1.大概一半的方瓦落在淺盤上，一半的方瓦留在盒子裡。 2.淺盤落下時呈現之 Z 字型移動方式。 3.淺盤落下時有時會卡在落下的軌道間而停止。 		

下面圖片為不同軌道時的方瓦散置情形：



圖 6-7



圖 6-8



圖 6-9



圖 6-10



圖 6-11



圖 6-12



圖 6-13



圖 6-14



圖 6-15



圖 6-16



圖 6-17



圖 6-18



圖 6-19



圖 6-20



圖 6-21



圖 6-22



圖 6-23



圖 6-24

(三) 研究發現

- 1.從淺盤中方瓦散置的情形及白紙上的軌跡可得知，「磁力緩降機」四周軌道磁鐵的排列方式會影響淺盤落下時的平穩度，其平穩度從大而小的順序是 $3 > 5 > 6 > 2 > 4 > 1$ ，其中最平穩的是第三種排列方式，就是軌道上的磁鐵與淺盤邊的磁鐵成相斥的狀態，且磁鐵和磁鐵間沒有間隔。
- 2.從聲音變化中可得知淺盤落下時撞擊底部的程度，聲音從大而小的順序是 $6 > 5 > 3 > 2 > 4 > 1$ ，其中第一種軌道沒有磁鐵的排列會發出最大的聲音，顯示它的淺盤是直接重重的撞擊到底部，落到底部時才又因磁鐵間所產生的斥力彈開來。

柒、結論

一、重要發現

(一) 能準確的分辨出不同磁鐵間的吸力和斥力

- 1.實驗一，測量各種不同樣式的磁鐵其吸力差異的方式中，爲了改良以往用迴紋針個數測試磁鐵吸力，無法明確分辨出不同磁鐵間微小之吸力差異的缺點，因此將磁鐵上下方各吸引一鐵片，下方鐵片吊掛一塑膠瓶，將 BB 彈一顆一顆的置入瓶中，直至磁鐵從鐵片上脫落爲止，瓶中 BB 彈重量即代表該磁鐵吸力大小。我們發現此一方式可以確實的分辨出不同磁鐵間的吸力差異。
- 2.在實驗二中，要測量各種不同樣式磁鐵其斥力差異的方式中，將磁鐵依同極相斥的方式放進試管中，再依據斥力而彈開的距離，判斷其斥力大小的方式，其實驗結果不僅精密度高，且可以確實的分辨出不同磁鐵間的斥力差異。

(二) 能將磁鐵間的斥力轉換成重量的形式呈現

以往，磁鐵間斥力的大小常用距離表示。在實驗三中我們利用廣用夾、鐵架、魔鬼粘、磁鐵、電子秤等器材設計一測量磁鐵斥力的裝置，移動廣用夾的高度使廣用夾上的磁鐵與電子秤上的磁鐵相距 1 公分、2 公分……13 公分，觀察電子秤上的刻度變化。我們發現兩磁鐵越靠近，磁鐵間的斥力就越大，而電子秤上所呈現的刻度就是磁鐵間的斥力所轉換成的重量形式。

(三) 能利用磁鐵間的斥力來估測物體重量

實驗四中，我們利用實驗二所得知磁鐵間斥力存在的特性以及實驗三所得知的斥力也是重量的一種形式，來製作簡易斥力秤，依據磁鐵間斥力所彈開的距離來粗略估測秤盤中物體的重量。

(四) 能利用磁鐵間斥力存在的特性設計緩衝裝置

1. 實驗四、實驗五，我們觀察到當砝碼放在斥力秤的淺盤中時，一開始淺盤會因為承受砝碼的重量而往下沉，但接著會因為兩磁鐵間所產生的斥力而往上浮，等上下晃動一會兒後才會在某一高度處停下來。磁鐵間所產生的斥力會使承載砝碼的淺盤在下落到底部的衝撞力大為降低。
2. 實驗六中，我們設計了「磁力緩降機」，發現當四周的軌道與淺盤呈相斥的狀態時，淺盤會直直的落下，降落的情形較平穩，所以淺盤上方瓦位置的變化較少；當四周的軌道與淺盤呈相吸的狀態時，淺盤會被左右邊軌道吸引，而呈「Z 字型」移動方式落下，降落的速度會較為緩慢，但淺盤上方瓦的散置情形較凌亂。

(五) 能分析磁鐵吸力及斥力大小的相關性

1. 在實驗一中，1-8 號磁鐵其磁力大小依序為：3 號 > 2 號 > 1 號 > 5 號 > 4 號 > 6 號 > 7 號 > 8 號。我們發現，除了 3 號強力磁鐵外，當磁鐵的重量越大，磁鐵的吸力也越大；當磁鐵的底面積越大，磁鐵的吸力也越大。
2. 在實驗二中用試管測量 1-8 號磁鐵的斥力實驗中，增加試管下方的磁鐵數到達某個個數時，磁鐵間相斥的距離就不再繼續增加，維持一個穩定的距離。1-8 號磁鐵所達到的穩定距離從大到小的順序為：2 號 > 1 號 > 4 號 > 6 號 > 5 號 > 7 號 > 8 號 > 3 號，其中重量和底面積最大的 2 號磁鐵，所造成的穩定相斥距離最大，為 2.7 公分；3 號強力磁鐵無法產生斥力，因此相斥距離為 0 公分。
3. 在實驗三中，1-8 號磁鐵在最短的距離時，因斥力大小而轉換在電子秤上的刻度，從大到小的順序為：2 號 > 1 號 > 5 號 > 6 號 > 4 號 > 7 號 > 8 號 > 3 號。其中，重量及底面積最大的 2 號磁鐵的斥力重最大。
4. 將實驗一、二、三所得的 1-8 號磁鐵磁力及斥力從最大到最小的順序重新整理成下圖-（因 3 號為特殊的強力磁鐵，所以不予排列）中可以看出，磁鐵吸力越大，斥力就越大。

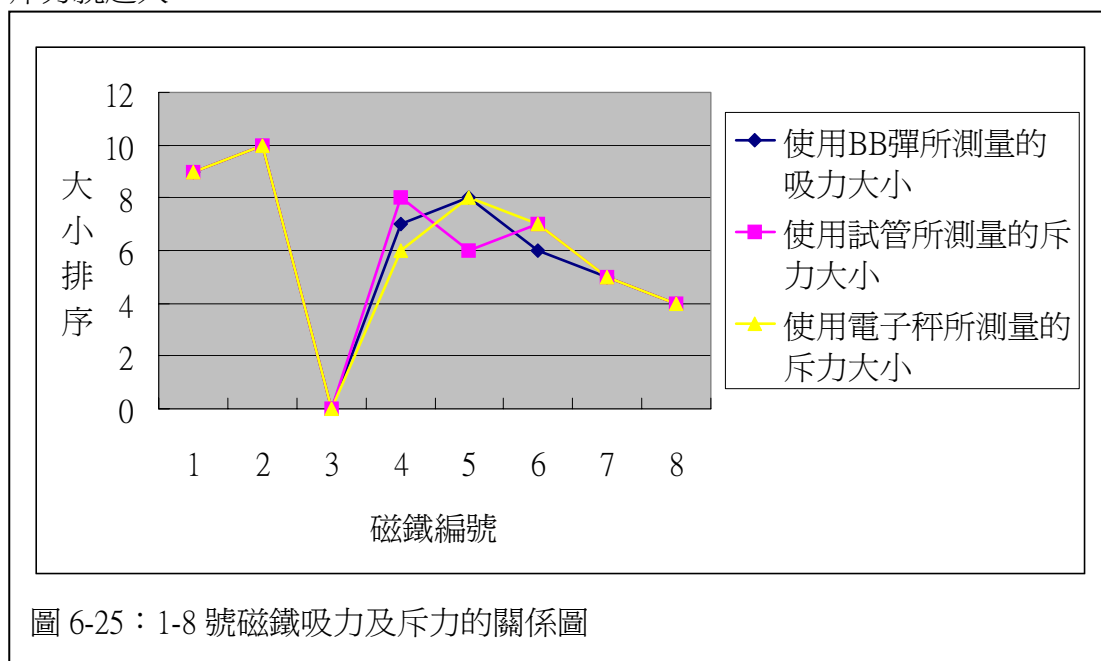


圖 6-25：1-8 號磁鐵吸力及斥力的關係圖

註：吸力或斥力最大得 10 分，第二大得 9 分，第三大得 8 分……以此類推。

二、未來展望

- 1.「磁力緩降機」利用磁鐵吸力及斥力的原理可大幅減弱物體落下的速度所造成的衝撞，以及可大幅提高物體落下時的平穩度，如果能將這樣的小模型放大到生活中，真正的應用在物體的運送或人員的運輸（如火災發生時的逃難設備），都可以達到節省能源的目的。
- 2.利用磁鐵吸力及斥力原理所設計的「磁力緩降機」，引發我們一個想法，如果地震發生時所引起的震動，能啟動利用斥力設計成的開關，那麼家裡的各項設施，就能在停電狀態繼續使用。
- 3.我們在實驗的過程中發現，磁鐵的斥力還能應用在測量物體的厚度，以及測量糖或鹽的水溶液中糖及鹽的濃度，限於篇幅及時間未能呈現，希望未來還有機會將此部分的發現和大家分享。

捌、參考資料

一、視聽媒體

認識磁力<科學知識系列> 協和國際多媒體股份有限公司 發行

二、書籍

- 1.牛頓版自然與生活科技領域第六冊第三單元「力的世界」
- 2.牛頓版自然與生活科技領域第六冊第八冊第一單元「簡單機械」
- 3.科學一做就通（上冊） 小天下出版社
- 4.科學一做就通（下冊） 小天下出版社
- 5.電和磁的奧秘 昱泉國際股份有限公司 發行

三、網站資料

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會國中組物理科 作品名稱：磁鐵在非鐵金屬管中的磁浮現象與應用

評 語

081520 磁中乾坤-探討磁力的特性及其應用

1. 研究設計之架構頗佳。
2. 傳達能力不錯。
3. 研究的設計方法及記錄方式很好。
4. 研究內容(如磁鐵重量與磁力斥力關係等)可再加強。