

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

080105

當「鋼珠」碰上「磁鐵」

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 楊孟哲 小六 曾凱翎 小六 李家巨 小六 陳彥宏	指導老師： 李偲華 游時銘
---	---------------------

關鍵詞：碰撞、能量傳遞、反彈

壹、摘要

本研究是從自然與生活科技領域中有關「力」的單元出發，利用鈷鐵錒磁鐵與鋼珠的組合，探究其中發生的碰撞及能量傳遞現象。研究中，我們發明了「滑輪磁力測量儀」及「磁力測量儀進化版」，進一步研究鋼珠與鈷鐵錒磁鐵發生碰撞時，最右端的鋼珠所受到的吸力多寡及能量的傳遞情形。

最後，我們改裝原本的碰撞儀來測試各種防撞材質的反彈及能量傳遞情形，企圖找出最好的防撞材質應用於日常生活中。

我們利用一整年的時間完成這個鈷鐵錒磁鐵與鋼珠的碰撞研究，獲得非常多的收穫。

貳、研究動機

五年級的一次科學玩具社團活動中，老師準備了許多鈷鐵錒磁鐵和鋼珠，要我們在木製軌道上進行創意科學玩具設計，結果我們在各種嘗試中竟然發現在某些組合下，鋼珠被鈷鐵錒磁鐵吸引時，會使鈷鐵錒磁鐵另一邊的鋼珠快速地被彈出去。

我們都為這個發現感到不可思議，也激發我們想要繼續研究的慾望，因此我們突發奇想，想試試看哪些改變會增加鋼珠彈出的力道，而這樣的創意科學玩具又能如何應用在生活中呢？為了實現我們的想法，我們決定找老師一起研究，一同向困難挑戰。

參、研究目的

- 一、找出會增大鋼珠彈出力道的鈷鐵錒磁鐵和鋼珠之最佳組合。
- 二、研發出可以在生活中應用鋼珠的彈出力道之創意設計。

肆、研究子題：

- 一、軌道材質是否會影響鋼珠滾動的距離？
- 二、鈷鐵錒磁鐵的大小是否會影響其磁力的大小？
- 三、不同磁力的鈷鐵錒磁鐵和不同大小的鋼珠之組合是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？
- 四、加速區中最右端的鋼珠如何受到鈷鐵錒磁鐵磁力的影響？
- 五、加速區中彈珠個數會如何影響鋼珠撞擊後傳遞的能量？
- 六、不同個數的鈷鐵錒磁鐵和鋼珠之組合是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？
- 七、加速區之間的距離是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？
- 八、加速區的組數是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？
- 九、利用「碰撞儀軌道改良版」測量不同防撞材質的反彈及能量傳遞情形。

伍、研究設備及器材

一、材料：

壓克力、塑膠瓦楞板、珍珠板、木條、壓條、瓦楞紙板、熱熔膠、大小不同的鈷鐵錒磁鐵、大小不同的鋼珠、瞬間接著劑、強力接著劑、泡棉膠、雙面膠、鐵片、塑膠管、砝碼、塑膠瓶、油土、彈簧、透明膠帶、釘子、鐵桶、注射筒、尼龍繩、軟泡棉、硬泡棉、保麗龍。

二、工具：

熱熔膠槍、壓克力刀、美工刀、鋸子、長尺、酒精燈、滑輪、鐵鎚、剪刀。

陸、研究方法、結果與發現

一、軌道材質是否會影響鋼珠滾動的距離？

(一) 研究方法：

1. 將壓克力、塑膠瓦楞板、珍珠板、木條、壓條、瓦楞紙板分別裁切黏製成1個長180公分的U型軌道(如圖1-1)。
2. 利用自製發射器(如圖1-2)分別將鋼珠(直徑長0.5cm, 重量1.4g)在不同材質軌道的一端發射出去(如圖1-3), 鋼珠會在軌道上滾動, 最後鋼珠會停止滾動, 此時記錄鋼珠在不同材質軌道上的滾動距離。
3. 不同材質軌道的實驗各進行5次, 再求其平均滾動距離。

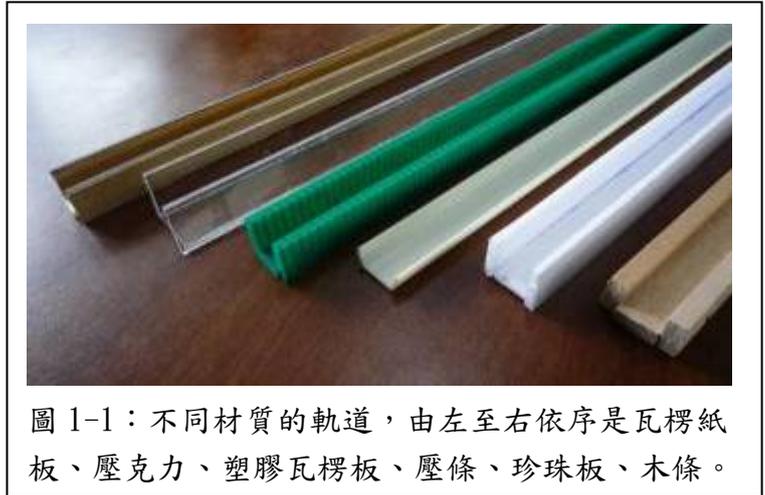


圖1-1：不同材質的軌道，由左至右依序是瓦楞紙板、壓克力、塑膠瓦楞板、壓條、珍珠板、木條。

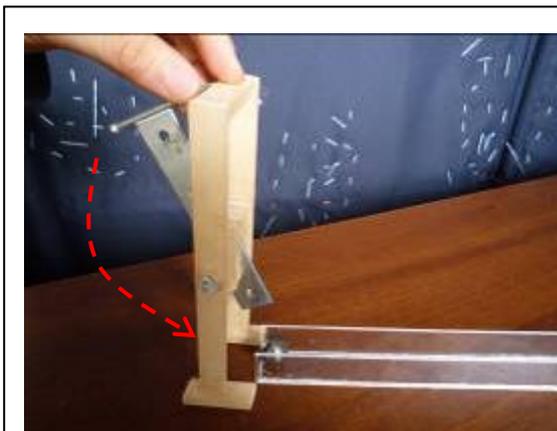


圖1-2：發射器將鋼珠發射出去。

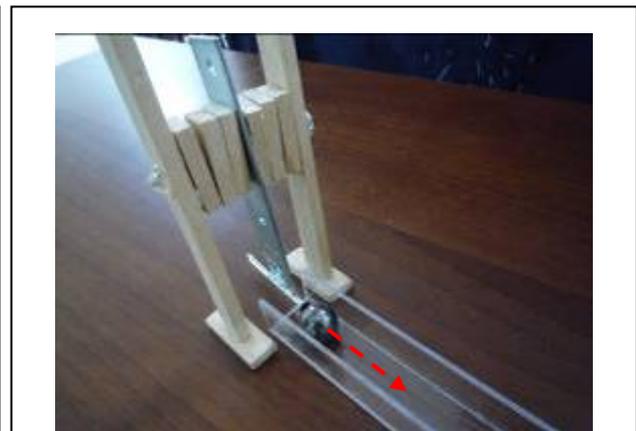


圖1-3：鋼珠被發射後在軌道上開始滾動。

(二) 實驗結果：

表1-1：鋼珠在不同材質軌道上的滾動距離一覽表

軌道材質	實驗次數					平均距離
	1	2	3	4	5	
塑膠瓦楞板	84.9	91.3	77.5	80.4	78.8	82.6
壓克力	162.4	178.2	156.2	168.5	160.1	165.1
珍珠板	34.6	48.6	30.4	42.9	36.8	38.7
木條	98.4	110.4	104.4	89.4	93.8	99.3
壓條	85.6	75.9	75.4	74.3	88.2	79.9
瓦楞紙板	78.9	68.8	75.2	70.6	79.2	74.5

(三) 實驗發現：

將表 1-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 1-4 後，發現：

1. 鋼珠在不同軌道材質上的平均滾動距離由大到小依序是：壓克力 > 木條 > 塑膠瓦楞板 > 壓條 > 瓦楞紙板 > 珍珠板。

2. 鋼珠在壓克力製的軌道上之平均滾動距離最遠，為 165.1 公分；鋼珠在珍珠板製的軌道上之平均滾動距離最近，為 38.7 公分。

3. 鋼珠在壓克力製的軌道上之平均滾動

距離最遠，表示鋼珠在壓克力製的軌道上滾動時的摩擦力較小，因此接下來的實驗中，我們都會使用壓克力板來製作鋼珠滾動時所需用到的軌道。

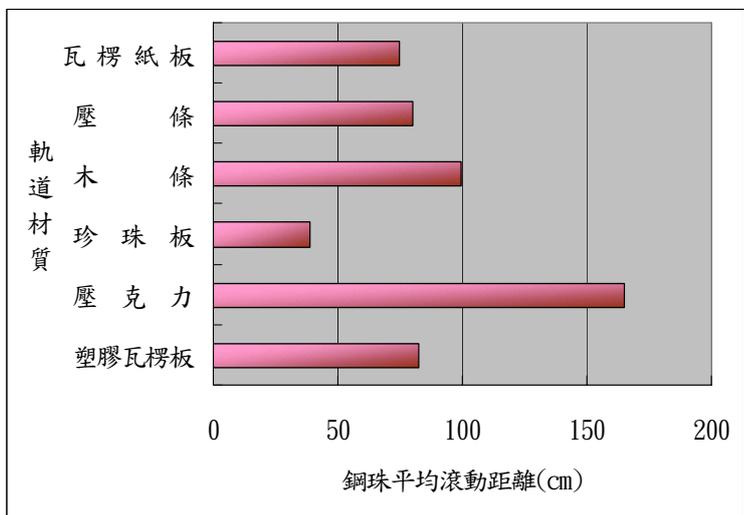


圖 1-4：鋼珠在不同材質軌道上的平均滾動距離比較圖

「磁力測量儀」的設計

因為接下來的實驗，將會使用到不同尺寸的鈷鐵錒磁鐵，我們想先研究鈷鐵錒磁鐵的大小和其磁力大小的關係。為了要測量不同尺寸的鈷鐵錒磁鐵，我們構想出三種能測量磁力的方法，並試作實驗（如圖 1-5），分析三種方式的優缺點，如表 1-2。

表 1-2：三種磁力測量方式優缺點分析

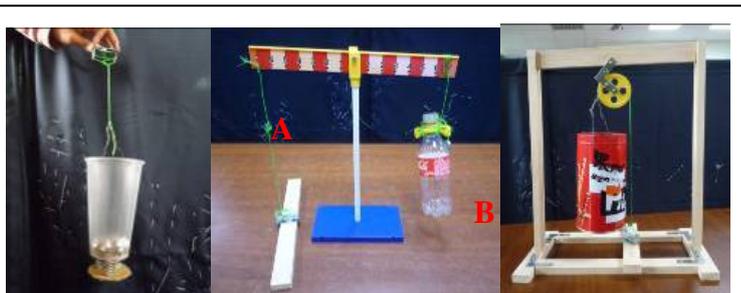


圖 1-5：由左至右為第一、二、三種磁力測量方式。

類別	第一種磁力測量方式	第二種磁力測量方式	第三種磁力測量方式
優缺點分析	手拿一鐵片，鐵片下吸一個要測量磁力的鈷鐵錒磁鐵，磁鐵下方吸引另一鐵片，鐵片下懸吊一塑膠桶，在塑膠桶內放置重物，直至下方鐵片離開磁鐵為止，此時塑膠桶內的重量就代表磁鐵所能承載的最大重量。	簡易天平的 A 端下方黏一個要測量磁力的鈷鐵錒磁鐵，並讓磁鐵吸住平台上的鐵片，在天平的 B 端放置重物，直至 A 端的磁鐵離開鐵片為止，此時 B 端上的重量就代表磁鐵所能承載的最大重量。	在定滑輪上繩子一端固定一鐵片，鐵片下吸一個要測量磁力的鈷鐵錒磁鐵，再讓磁鐵吸住下方木架上的一鐵片，在繩子另一端鐵桶內放重物，直至另一端磁鐵離開鐵片，此時鐵桶內重量代表磁鐵所能承載最大重量。
優點	所需材料簡單。	材料容易取得。	1. 能一人獨立操作實驗。 2. 重心較穩。
缺點	1. 需二人合力操作實驗。 2. 無法長時間用手固定鐵片。	1. 簡易天平 B 端能承載的重量有限。 2. 重心不穩，容易翻倒。	需要費時的設計與製作。

依據優缺點分析，我們認為第三種磁力測量方式雖然製作費時，但是操作起來最容易，因此我們決定使用第三種方式來測量不同尺寸的鈷鐵錒磁鐵的磁力，我們將這裝置稱為「滑輪磁力測量儀」。

二、鈷鐵錳磁鐵的大小是否會影響其磁力的大小？

(一) 研究方法：

1. 在市面上蒐集到七種不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵，將其命名為 MA、MB、MC、MD、ME、MF、MG。
2. 測量 MA、MB、MC、MD、ME、MF、MG 的直徑、厚度、重量。
3. 利用「滑輪磁力測量儀」，將 MA、MB、MC、MD、ME、MF、MG 分別和鐵座相吸，在鐵桶內每一次只放入一個 20 公克的砝碼（如圖 2-1），直至鈷鐵錳磁鐵無法被鐵座吸引為止，記錄此時鐵桶和鐵桶內砝碼的總重量，此總重量就是該鈷鐵錳磁鐵能承受的最大重量。
4. 七種不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵各進行 3 次實驗，再求取不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵可承受的平均重量。

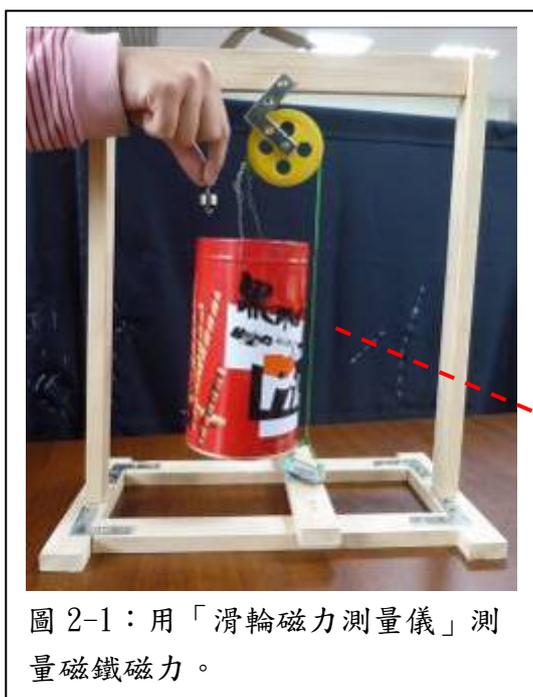


圖 2-1：用「滑輪磁力測量儀」測量磁鐵磁力。

記錄此時鐵桶和鐵桶內砝碼的總重量，此總重量就是該鈷鐵錳磁鐵能承受的最大重量。

4. 七種不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵各進行 3 次實驗，再求取不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵可承受的平均重量。

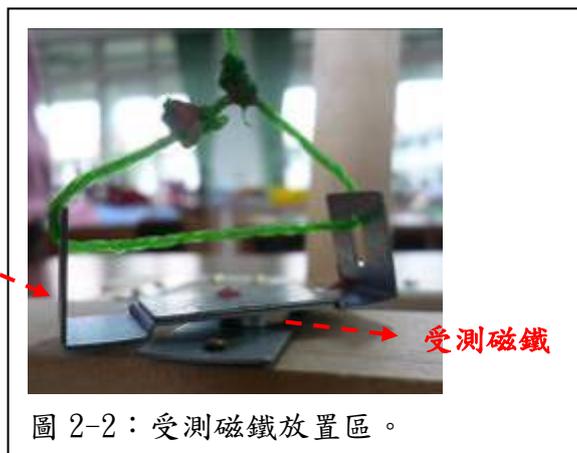


圖 2-2：受測磁鐵放置區。

(二) 實驗結果：

表 2-1：不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵其直徑、厚度、重量一覽表

磁鐵編號	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG
直徑(cm)	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
厚度(cm)	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2
重量(g)	6.6	4.2	2.9	1.8	1.2	0.9	0.7

表 2-2：不同尺寸的鈷鐵錳磁鐵與其能承受重量的關係表

實驗 次數	磁鐵編號	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG
	承受 重量 (g)							
1		3310	3170	2870	1910	1810	1590	1550
2		3350	3190	2850	1930	1830	1550	1510
3		3310	3130	2850	1870	1810	1590	1550
	平均重量 (g)	3323.33	3163.33	2856.67	1903.33	1816.67	1576.67	1536.67

(三) 實驗發現：

1. 將表 2-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 2-3 後，發現鈷鐵錒磁鐵的厚度越厚、直徑越大，它的重量也越重。

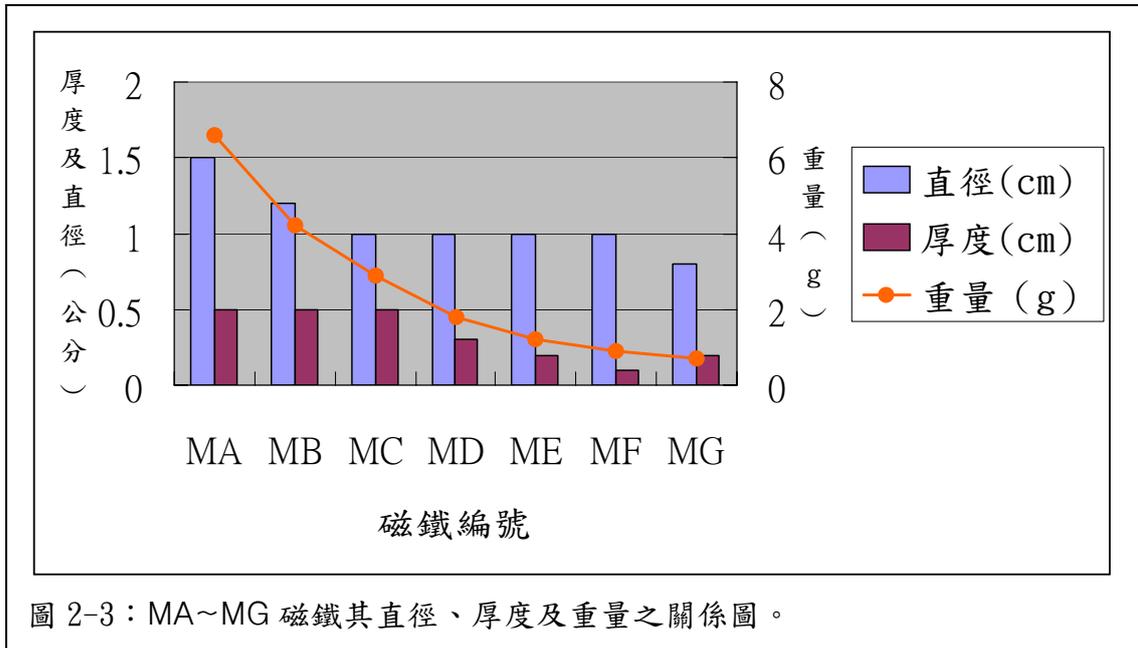


圖 2-3：MA~MG 磁鐵其直徑、厚度及重量之關係圖。

2. 將表 2-2 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 2-4 後，發現七種不同尺寸的鈷鐵錒磁鐵其能承受的總重量由大至小依序是：MA > MB > MC > MD > ME > MF > MG，其中磁鐵 MA 能承受的平均重量最大，為 3323.33 公克；磁鐵 MG 能承受的平均重量最小，為 1536.67 公克。兩者相差 1786.66 公克。

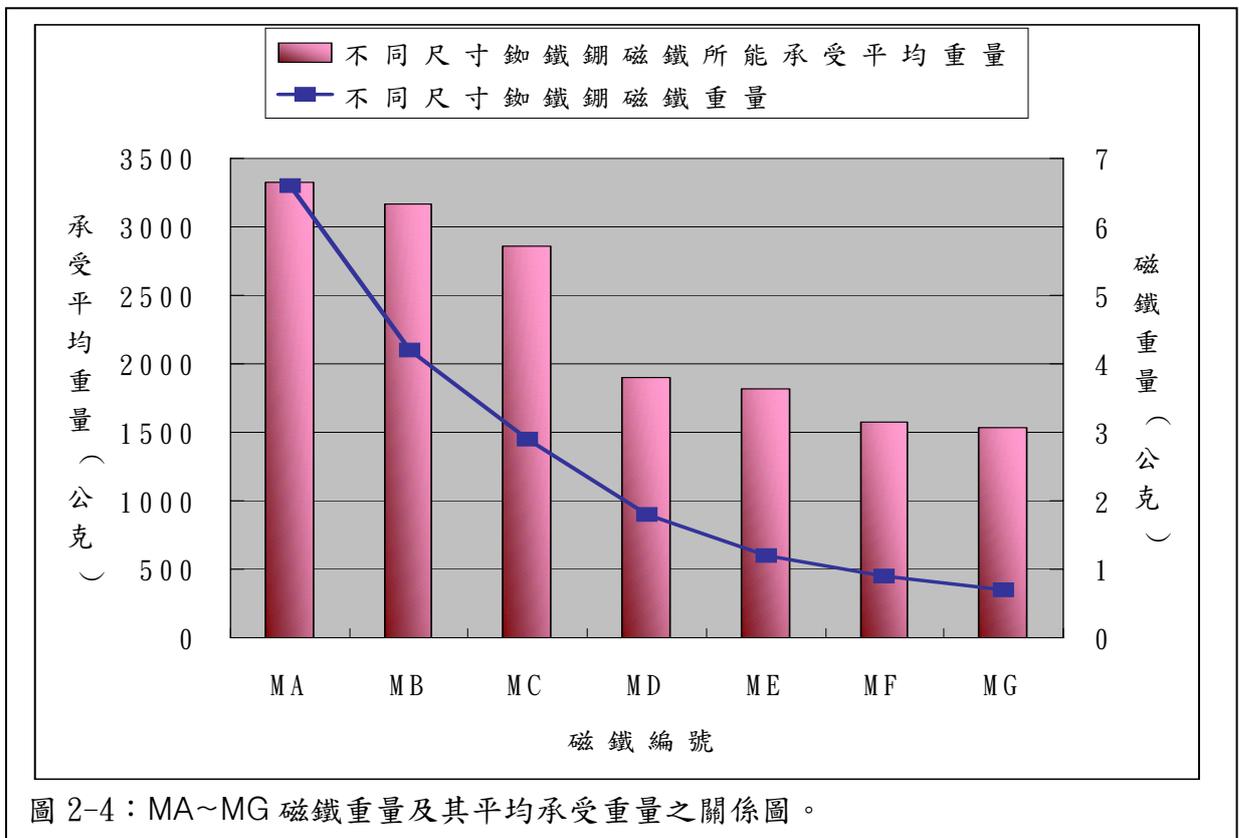


圖 2-4：MA~MG 磁鐵重量及其平均承受重量之關係圖。

3. 鈷鐵錒磁鐵重量越重，磁鐵所能承受的平均重量也越大，表示其磁力也越強。

三、不同磁力的鈷鐵錳磁鐵和不同大小的鋼珠之組合是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？

(一) 研究方法：

1. 蒐集市面上四種不同大小的鋼珠，命名為 a、b、c、d。鋼珠 a、b、c、d 的大小與重量如右表 3-1 所示：
2. 為能安置各種尺寸鋼珠及磁鐵，我們決定製作 V 型軌道。將壓克力板切割成兩條寬 2cm、長 180cm 壓克力，用強力接著劑將兩條壓克力組合成 V 型軌道，兩邊夾角為 90 度。再用瞬間接著劑將 L 型鐵片組合成 Y 字型支架以支撐 V 型軌道，完成軌道裝置如圖 3-1~3-2。

表 3-1：不同大小的鋼珠其直徑、重量一覽表

鋼珠編號	a	b	c	d
直徑(cm)	1.5	1	0.9	0.75
重量(g)	16.5	4.1	3.6	1.7



圖 3-1：壓克力製的 V 字型軌道。



圖 3-2：兩片壓克力成 90 度角。

3. 將 1 個 MA 磁鐵分別與 2~7 個鋼珠 a 形成各種組合，組合形式如下表 3-2 所示：

表 3-2：MA 磁鐵分別與 2~7 個鋼珠 a 的各種組合形式及圖樣一覽表

鋼珠總個數	磁鐵 MA 與鋼珠 a 的組合形式及圖樣					
2	左 1 右 1					
	●□●					
3	左 1 右 2	左 2 右 1				
	●□●●	●●□●				
4	左 1 右 3	左 2 右 2	左 3 右 1			
	●□●●●	●●□●●	●●●□●			
5	左 1 右 4	左 2 右 3	左 3 右 2	左 4 右 1		
	●□●●●●	●●□●●●	●●●□●●	●●●●□●		
6	左 1 右 5	左 2 右 4	左 3 右 3	左 4 右 2	左 5 右 1	
	●□●●●●●	●●□●●●●	●●●□●●●	●●●●□●●	●●●●●□●	
7	左 1 右 6	左 2 右 5	左 3 右 4	左 4 右 3	左 5 右 2	左 6 右 1
	●□●●●●●●	●●□●●●●●	●●●□●●●●	●●●●□●●●	●●●●●□●●	●●●●●●□●

4. 將上述所有組合一一放在軌道上進行如下的實驗，以左 1 右 4 組合為例：在軌道上放置 1 個 MA 磁鐵(以透明膠帶固定)及其右邊的 4 個鋼珠 a，在距離最右端鋼珠 a 的 5cm 處，放置一長管子(長 10cm，重 3.5g)當作障礙物。在 MA 磁鐵左邊輕放 1 個鋼珠 a，讓鋼珠 a 自然的被 MA 磁鐵吸引，觀察最右邊的鋼珠 a 是否能發射出去，發射出去的鋼珠 a 又能使障礙物移動多少距離(如圖 3-3~3-4)，並記錄障礙物移動距離。每種組合進行 5 次實驗，再求取障礙物的平均移動距離。



圖 3-3：磁鐵與鋼珠呈現左 1 右 4 的組合，在距離最右端鋼珠 a 的 5cm 處，放置一長管子當作障礙物。



圖 3-4：觀察並記錄發射出去的鋼珠 a 使障礙物移動多少距離。

5. 一一將磁鐵 MA、MB、MC、MD、ME、MF、MG 與鋼珠 a、b、c、d 做交叉配對及組合，重複進行步驟 3 及步驟 4 的實驗。

(二) 實驗結果：

(表 3-3~表 3-6 僅呈現實驗五次後的平均數據，詳細數值請見實驗日誌)

表 3-3：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 a 個數之組合的障礙物平均移動距離一覽表

磁鐵鋼珠配對 移動距離 鋼珠組合	MA 與 a	MB 與 a	MC 與 a	MD 與 a	ME 與 a	MF 與 a	MG 與 a
左 1 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 2	53.4	23.2	15.0	12.5	9.4	8.6	2.3
左 2 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 3	58.1	26.0	20.2	13.4	11.4	10.5	4.6
左 2 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 3 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 4	65.3	35.5	31.9	13.9	13.2	12.9	4.2
左 2 右 3	3.5	1.7	1.3	0.4	0.5	0.3	0.3
左 3 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 5	53.2**	30.3**	26.4**	15.4**	8.4**	8.3**	3.7**
左 2 右 4	5.4	3.0	2.2	0.6	0.7	0.6	0.5
左 3 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 6	49.8**	15.3**	13.5**	11.3**	8.3***	7.7**	4.0***
左 2 右 5	6.6	3.2	2.1	0.9	0.7	0.6	0.5
左 3 右 4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
左 4 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 6 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：表格內符號「*」的個數表示鈷鐵錒磁鐵最右邊共有幾個鋼珠一起被彈出。

表 3-4：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 b 個數之組合的障礙物平均移動距離一覽表

磁鐵鋼珠配對 移動距離 鋼珠組合	MA 與 b	MB 與 b	MC 與 b	MD 與 b	ME 與 b	MF 與 b	MG 與 b
左 1 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 2	18.1	22.4	15.0	6.4	6.2	2.4	1.5
左 2 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 3	22.7	26.8	16.4	8.3	8.0	3.9	2.2
左 2 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 3 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 4	23.9	30.6	16.8	8.9	7.6	4.6	3.4
左 2 右 3	2.2	1.6	0.9	0.4	0.3	0.2	0.1
左 3 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 5	21.9**	26.0**	15.4**	8.4**	7.3**	4.0**	3.2**
左 2 右 4	5.0	3.3	1.7	0.8	0.4	0.3	0.2
左 3 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 6	19.4**	22.2**	15.1**	10.2**	6.9**	3.7**	3.8**
左 2 右 5	4.4	4.3	1.8	1.1	0.4	0.3	0.3
左 3 右 4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 6 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：表格內符號「*」的個數表示鈦鐵錒磁鐵最右邊共有幾個鋼珠一起被彈出。

表 3-5：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 c 個數之組合的障礙物平均移動距離一覽表

磁鐵鋼珠配對 移動距離 鋼珠組合	MA 與 c	MB 與 c	MC 與 c	MD 與 c	ME 與 c	MF 與 c	MG 與 c
左 1 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 2	16.4	20.8	23.2	10.8	6.3	4.1	3.3
左 2 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 3	21.1	22.5	25.4	9.5	6.7	5.6	4.3
左 2 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 3 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 4	23.2	26.2	28.8	8.6	7.5	6.4	4.7
左 2 右 3	2.0	3.3	2.3	0.5	0.2	0.5	0.2
左 3 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 5	21.9	24.7	26.8	8.2	7.3**	6.1**	5.5
左 2 右 4	1.9	2.2	2.5	1.1	0.4	0.9	0.3
左 3 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 6	18.9	21.4	23.5	7.5**	6.9**	5.6**	4.6
左 2 右 5	2.2	2.6	3.5	1.3	0.5	0.3	0.3
左 3 右 4	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 6 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：表格內符號「*」的個數表示鈦鐵錒磁鐵最右邊共有幾個鋼珠一起被彈出。

表 3-6：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 d 個數之組合的障礙物平均移動距離一覽表

磁鐵鋼珠配對 移動距離 鋼珠組合	MA 與 d	MB 與 d	MC 與 d	MD 與 d	ME 與 d	MF 與 d	MG 與 d
左 1 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 2	0.0	5.8	6.2	4.3	3.3	2.7	2.0
左 2 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 3	4.2	7.0	8.4	4.7	4.3	2.2	2.2
左 2 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 3 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 4	5.7	8.8	9.4	4.8	4.3	3.0	2.5
左 2 右 3	0.0	1.3	1.5	0.3	0.5	0.5	0.1
左 3 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 5	4.5	7.9	8.1	4.2	2.0	2.0	2.0
左 2 右 4	0.5	2.2	2.0	0.3	0.9	0.9	0.2
左 3 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 1 右 6	4.3	6.8	7.6	2.8**	2.0**	2.0**	1.1**
左 2 右 5	1.2	1.8	2.5	0.3	1.1	1.1	0.5
左 3 右 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 4 右 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 5 右 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
左 6 右 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0

註：表格內符號「*」的個數表示鈷鐵錒磁鐵最右邊共有幾個鋼珠一起被彈出。

(三) 實驗發現：

將表 3-3~表 3-6 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 3-5~圖 3-8 後，發現：

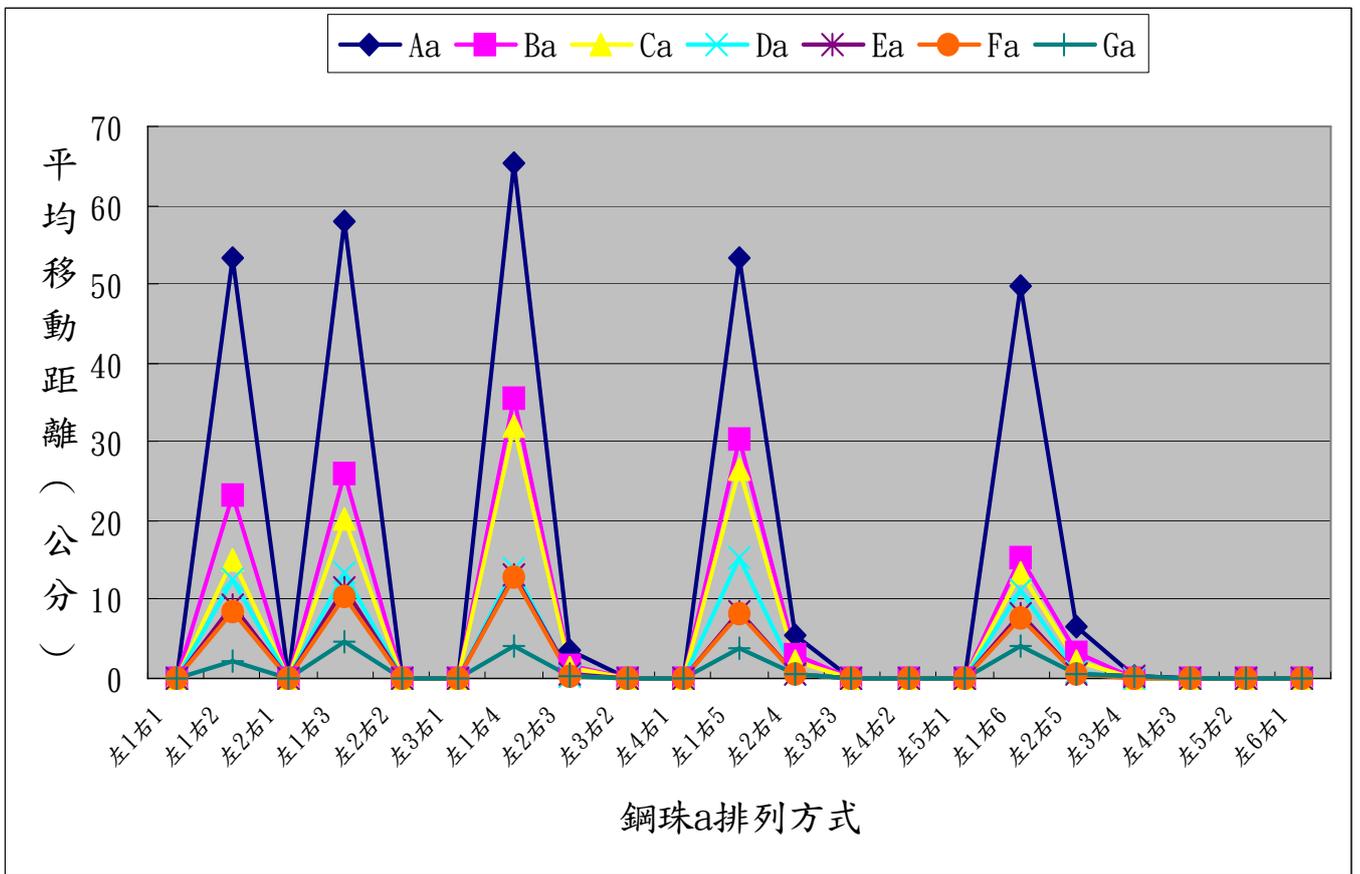


圖 3-5：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 a 個數之組合及其障礙物平均移動距離關係圖。

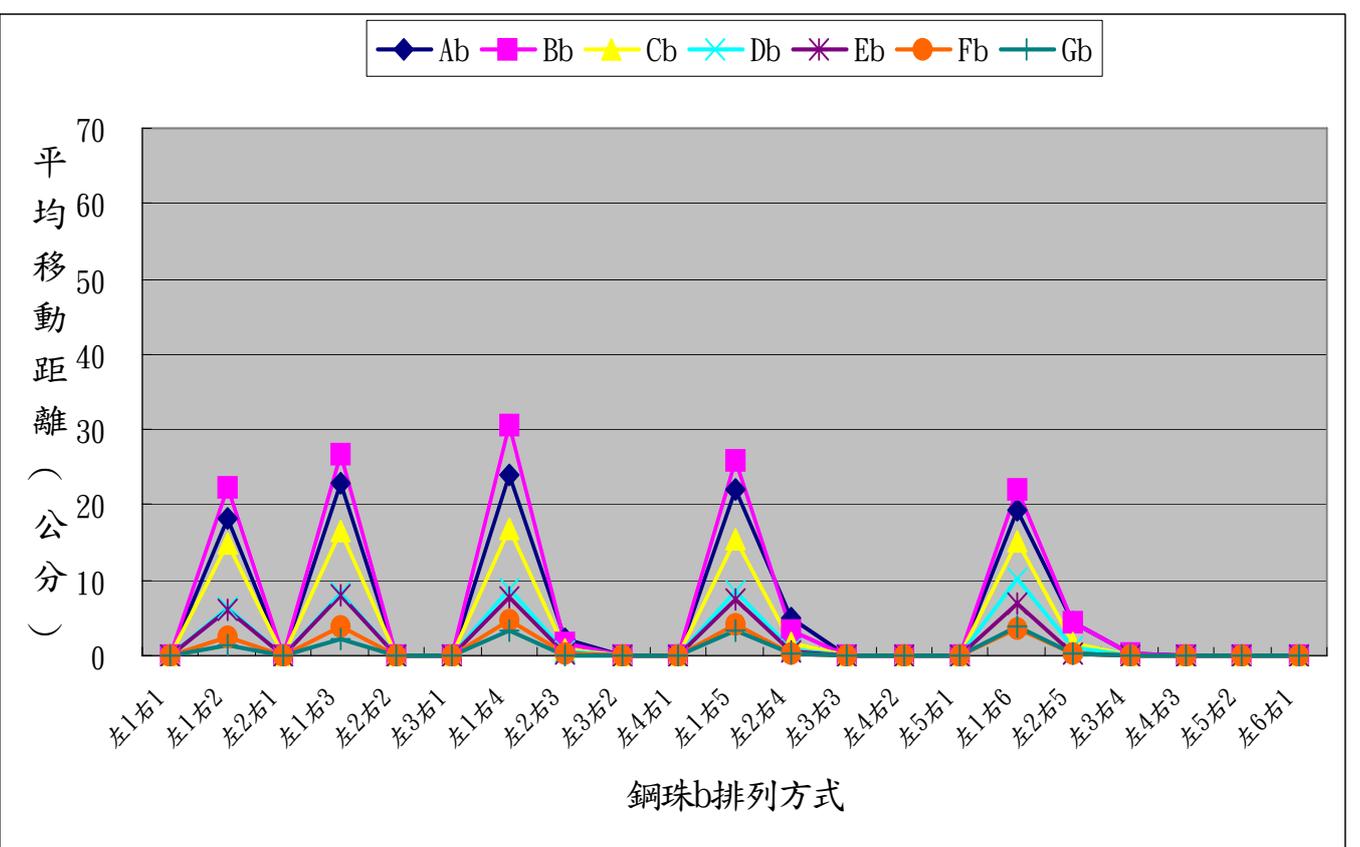


圖 3-6：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 b 個數之組合及其障礙物平均移動距離關係圖。

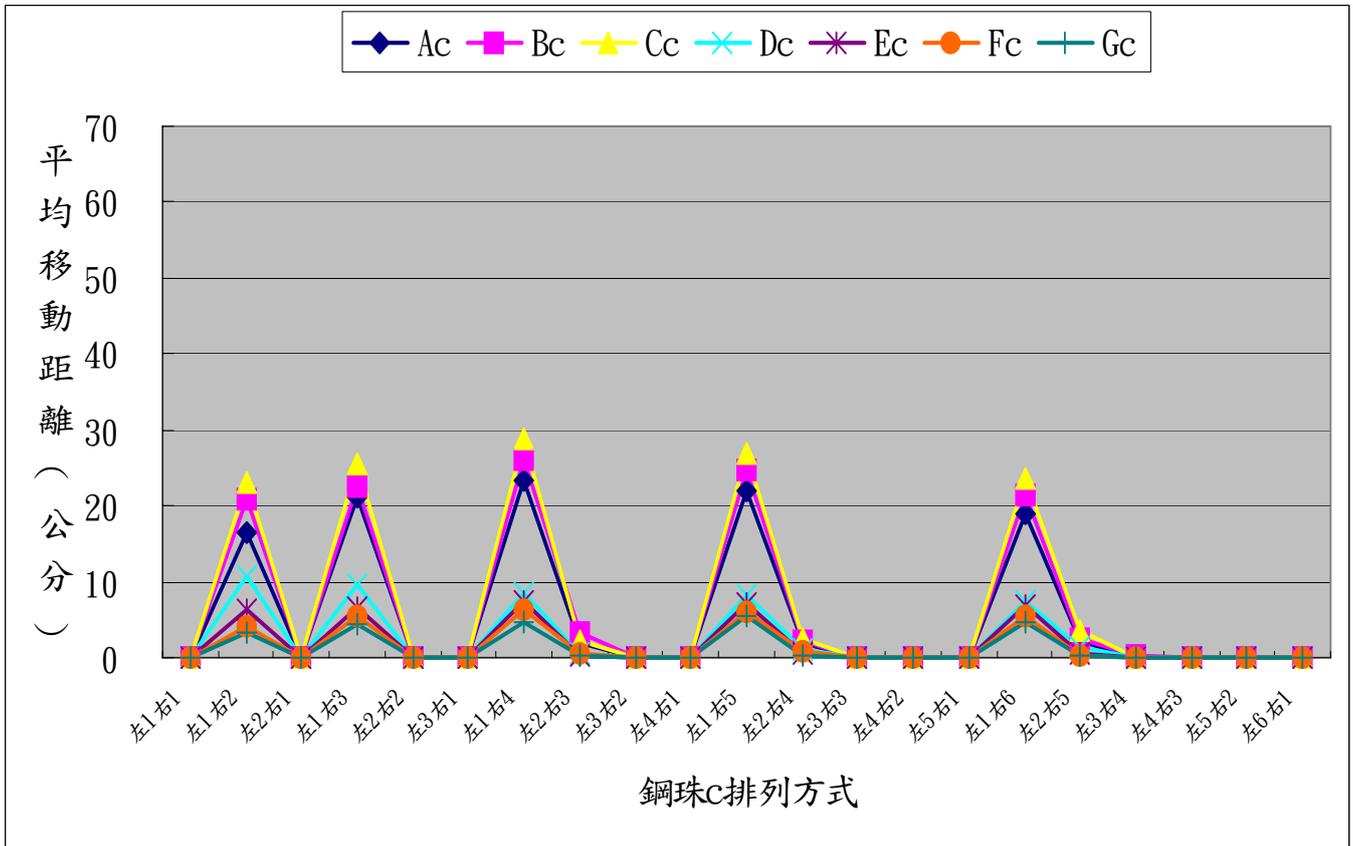


圖 3-7：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 c 個數之組合及其障礙物平均移動距離關係圖。

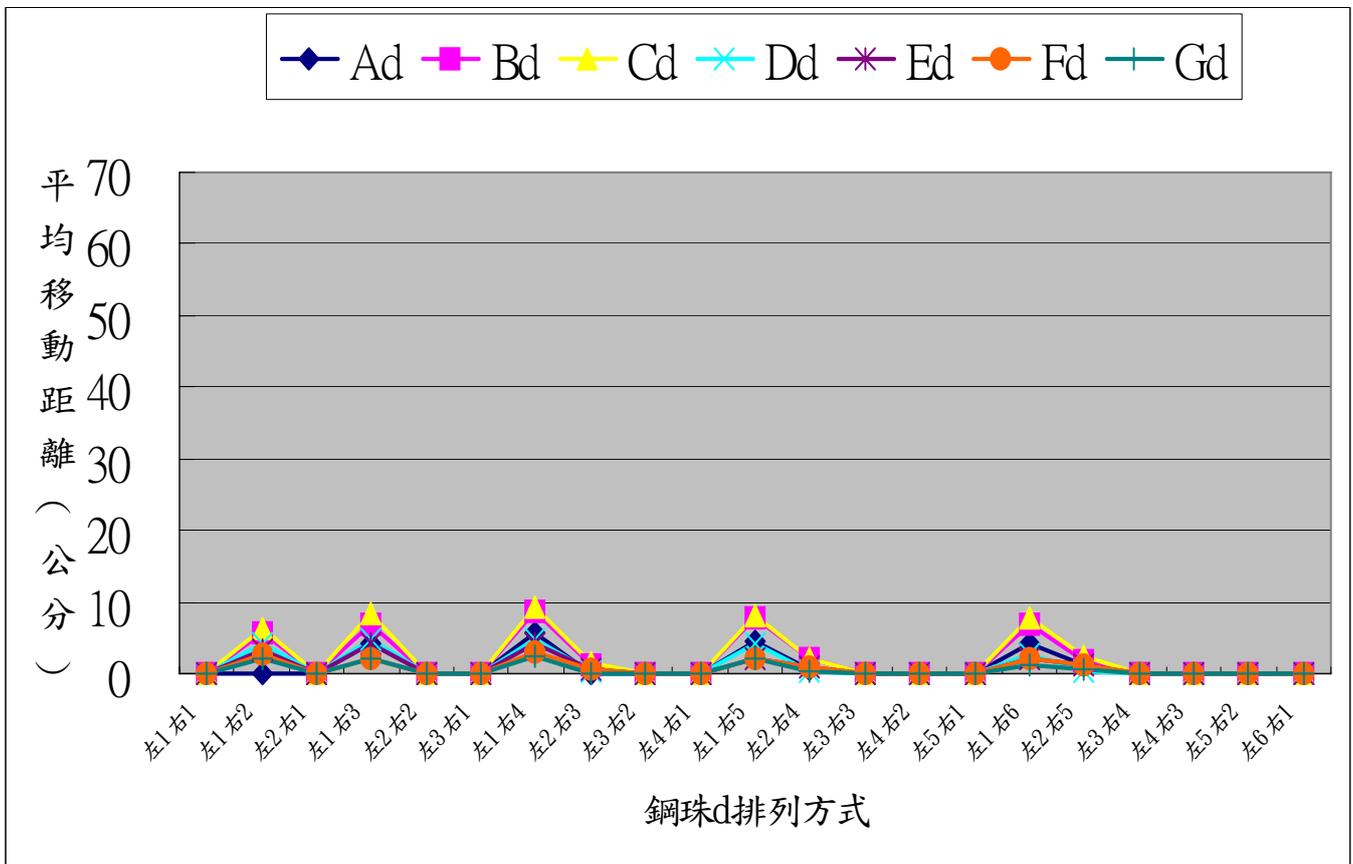


圖 3-8：MA~MG 磁鐵與不同鋼珠 d 個數之組合及其障礙物平均移動距離關係圖。

1. 不論是哪個尺寸的鈷鐵錒磁鐵和哪個尺寸的鋼珠組合，只要是左端的鋼珠自然的被磁鐵吸引後呈現對稱的形式就無法將最右端的鋼珠發射出去，符合此種狀況的形式種類如下：左 1 右 1、左 2 右 2、左 3 右 3。但左 2 右 2、左 3 右 3 的組合若是左端的鋼珠以人為加速推動的方式被磁鐵吸引，最右端的鋼珠就會被發射出。
2. 不論是哪個尺寸的鈷鐵錒磁鐵和哪個尺寸的鋼珠組合，只要是左端的鋼珠自然的被磁鐵吸引後呈現左端鋼珠多於右端鋼珠的形式，就無法將最右端的鋼珠發射出去，符合此種狀況的形式種類如下：左 2 右 1、左 3 右 1、左 3 右 2、左 4 右 1、左 4 右 2、左 5 右 1、左 4 右 3、左 5 右 2、左 6 右 1。
3. 磁鐵 MA~MG 與不同個數鋼珠 a~d 的左 1 右 2、左 1 右 3、左 1 右 4、左 1 右 5、左 1 右 6 組合，其障礙物平均移動距離都大大優於左 2 右 3、左 2 右 4、左 2 右 5、左 3 右 4 的組合。
4. 磁鐵 MA~MG 與不同個數鋼珠 a 的組合中：
 - ① 不論任一組合的碰撞，障礙物平均移動距離由大至小皆符合：MA 磁鐵 > MB 磁鐵 > MC 磁鐵 > MD 磁鐵 > ME 磁鐵 > MF 磁鐵 > MG 磁鐵。其中 MA 磁鐵與鋼珠 a 的左 1 右 4 的組合，障礙物平均移動距離最大，為 65.3 公分。
 - ② 磁鐵 MA~MG 與鋼珠 a 的左 1 右 5、左 1 右 6 組合，會一併發射出 2 顆彈珠。
5. 磁鐵 MA~MG 與不同個數鋼珠 b 的組合中：
 - ① 不論任一組合的碰撞，障礙物平均移動距離由大至小皆符合：MB 磁鐵 > MA 磁鐵 > MC 磁鐵 > MD 磁鐵 > ME 磁鐵 > MF 磁鐵 > MG 磁鐵。其中 MB 磁鐵與鋼珠 b 的左 1 右 4 的組合，障礙物平均移動距離最大，為 30.6 公分。
 - ② 磁鐵 MA~MG 與鋼珠 b 中左 1 右 5、左 1 右 6 組合，會一併發射出 2 顆彈珠。
6. 磁鐵 MA~MG 與不同個數鋼珠 c 組合中：
 - ① 不論任一組合的碰撞，障礙物平均移動距離由大至小皆符合：MC 磁鐵 > MB 磁鐵 > MA 磁鐵 > MD 磁鐵 > ME 磁鐵 > MF 磁鐵 > MG 磁鐵。其中 MC 磁鐵與鋼珠 c 的左 1 右 4 的組合，障礙物平均移動距離最大，為 28.8 公分。
 - ② 磁鐵 ME~MG 與鋼珠 c 的左 1 右 5、左 1 右 6 組合，會一併發射出 2 顆彈珠。
 - ③ 磁鐵 MD 與鋼珠 c 的左 1 右 6 組合，會一併發射出 2 顆彈珠。
7. 磁鐵 MA~MG 與不同個數鋼珠 d 的組合中：
 - ① 磁鐵 MA 與鋼珠 d 的左 1 右 2 組合，無法將最右端的鋼珠發射出去。
 - ② 磁鐵 MA~MG 與不同個數鋼珠 d 的左 1 右 4、左 1 右 5、左 1 右 6 組合時，障礙物平均移動距離由大至小符合：MC 磁鐵 > MB 磁鐵 > MA 磁鐵 > MD 磁鐵 > ME 磁鐵 > MF 磁鐵 > MG 磁鐵。其中 MC 磁鐵與鋼珠 d 的左 1 右 4 的組合，障礙物平均移動距離最大，為 9.4 公分。
 - ③ 磁鐵 MD~MG 與鋼珠 d 的左 1 右 6 組合，會一併發射出 2 顆彈珠。
 - ④ 磁鐵 MB、MC 與鋼珠 d 任一組合的碰撞中，障礙物平均移動距離都很接近，最大的差距為 1.3 公分。
 - ⑤ 磁鐵 MA、MD、ME 與鋼珠 d 任一組左 1 右 N 的碰撞中(左 1 右 2 除外)，障礙物平均移動距離都很接近，最大的差距為 1.5 公分。
 - ⑥ 磁鐵 MF、磁鐵 MG 與鋼珠 d 的任一組左 1 右 N 的碰撞中，障礙物平均移動距離都很接近，最大的差距為 0.9 公分。



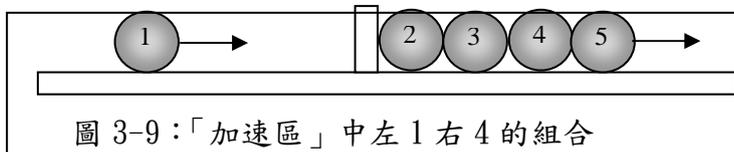
a 鋼珠和 MA 磁鐵的碰撞，能發射出力道最強的鋼珠！

從子題三，我們已經知道不同尺寸的鈷鐵錒磁鐵和不同尺寸的鋼珠中，以編號 a 的鋼珠和編號 MA 的磁鐵不論在哪個組合中的碰撞，都能發射出較強力道的鋼珠，使障礙物移動到較遠的距離。因此接下來的實驗，我們都是以 MA 磁鐵和 a 鋼珠的組合來進行實驗。



「磁力測量儀」的改良

從子題三的實驗，我們可以觀察到在鈷鐵錒磁鐵的左邊輕放 1 個鋼珠，讓鋼珠自然的被鈷鐵錒磁鐵吸引，此時最右邊的鋼珠會被加速的發射出去以推動障礙物，我們將這樣磁鐵與鋼珠的組合稱為「加速區」（如右圖 3-9）。



我們可以推想最右邊的鋼珠會被加速地發射出去，是因為最左邊的鋼珠被鈷鐵錒磁鐵吸引時所產生的撞擊力道傳遞到最右邊的鋼珠上，但是磁鐵右邊的鋼珠數量不同，發射出去的力道也不相同的原因是什麼呢？難道是磁鐵右邊的每一顆鋼珠所受到的磁鐵吸力是不同的嗎？還是左邊所傳來的撞擊力道會因右邊的鋼珠數量多寡而產生能量的衰減現象呢？

原先的「磁力測量儀」無法解決上述問題，因此我們又設計三種能測量磁鐵吸引數顆鋼珠後的磁力及能測量撞擊時傳遞到最右邊鋼珠的力道之裝置(如表 3-7)。這三種裝置的優缺點分析如下：

表 3-7：三種「磁力測量儀」改良版的優缺點分析

類別	第一種測量方式	第二種測量方式	第三種測量方式
設計圖			
完成品			
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安裝容易。 2. 能測量磁鐵右邊每顆鋼珠所受的磁鐵吸力。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安裝容易。 2. 能測量磁鐵右邊每顆鋼珠所受的磁鐵吸力。 3. 可以測量撞擊時傳遞到最右邊鋼珠的力道。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 木架下可置重物增加重心。 2. 木架上凹槽可固定 V 型軌道。 3. 能測量磁鐵右邊每顆鋼珠所受的磁鐵吸力。 4. 可以測量撞擊時傳遞到最右邊鋼珠的力道。
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重心非常不穩。 2. 軌道不易固定於木架上。 3. 無法測量撞擊時傳遞到右邊鋼珠的力道。 	<p>實驗時，壓克力 V 型軌道容易因重心不穩而往上翹。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因無現成的木板規格，需請木工師傅協助裁切出我們要的木板尺寸。 2. 安裝費時、費工。

根據優缺點分析，我們決定選擇優點較多但安裝卻費工費時的第三種裝置來進行子題四、五的實驗，我們將此種裝置稱為「磁力測量儀進化版」。

「磁力測量儀進化版」介紹

💡「磁力測量儀進化版」是由我們畫出設計圖，請木工師傅替我們裁出需要的木板尺寸，再由我們組裝而成的器材，裡頭充滿我們的巧思喔，現在讓我們為您介紹「磁力測量儀進化版」的各部構造。



圖 3-11: V 型軌道前端的木板釘上鐵片，方便吸附磁鐵。

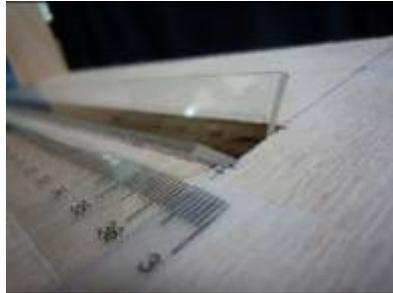


圖 3-12: 木板上有凹槽以固定 V 型軌道。

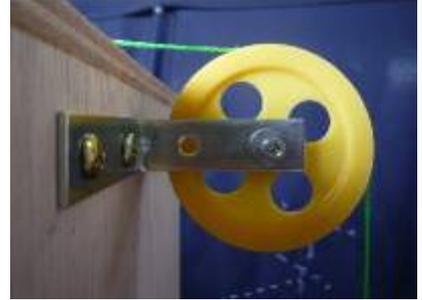


圖 3-13: 木板側面有定滑輪裝置以懸吊塑膠桶。

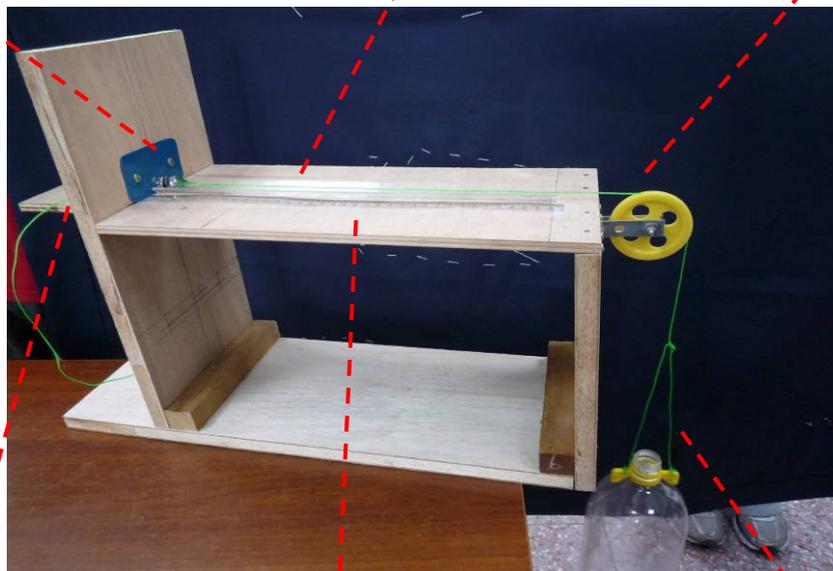


圖 3-10: 「磁力測量儀進化版」的完成品



圖 3-14: 木板另一端也有 V 型軌道，便於進行鋼珠碰撞磁鐵實驗。

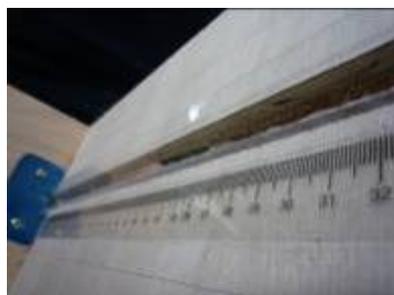


圖 3-15: V 型軌道旁有透明塑膠尺方便測量距離。

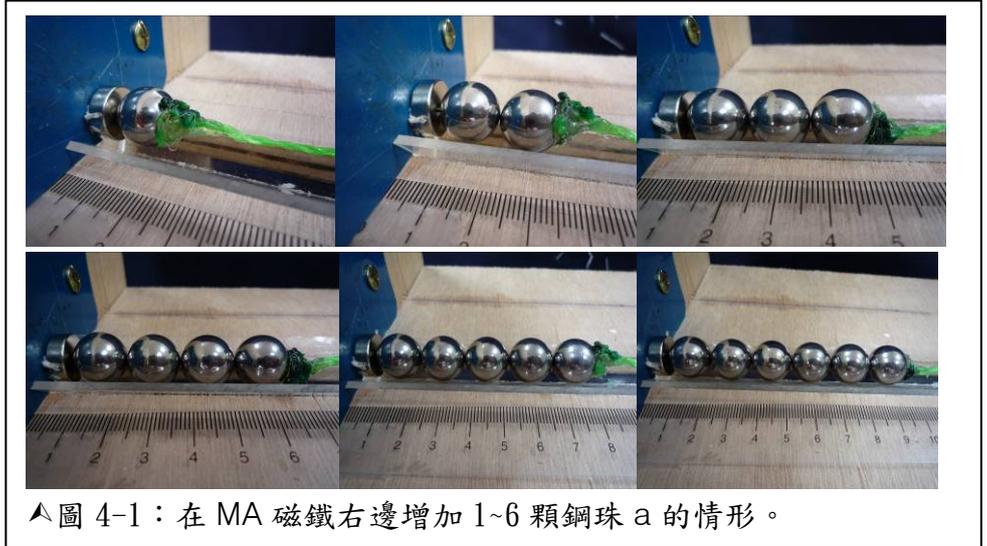


圖 3-16: 定滑輪下方懸掛塑膠桶，以針筒注水。

四、加速區中最右端的鋼珠如何受到鈷鐵錒磁鐵磁力的影響？

(一)研究方法

1. 用「磁力測量儀進化版」進行實驗。
2. 取 1 個 MA 磁鐵，左端吸在壓克力製的 V 型軌道前端鐵片上，右端吸住 1 顆鋼珠，在塑膠瓶中注水直至鋼珠脫離磁鐵為止，此時鋼珠、繩子、塑膠瓶、塑膠瓶內的水的總重即是鋼珠脫離磁鐵的所需重量。重複 5 次實驗，求取鋼珠脫離磁鐵的平均所需重量。



▲圖 4-1：在 MA 磁鐵右邊增加 1~6 顆鋼珠 a 的情形。

3. 在 MA 磁鐵右邊增加 1~6 顆鋼珠 a(如圖 4-1)，重複步驟 2 的實驗，取得最右端鋼珠脫離磁鐵的所需重量。

(二)實驗結果

表 4-1：加速區中不同鋼珠個數下，最右端鋼珠脫離磁鐵所需重量重量之一覽表

實驗次數	鋼珠個數						
	承受重量(g)	1	2	3	4	5	6
1		1529.2	632.8	262.8	140.8	75.2	44.6
2		1575.4	631.2	266.2	146.0	73.6	45.1
3		1590.0	632.2	255.8	139.2	74.8	44.2
4		1528.6	623.4	259.4	143.8	74.4	44.6
5		1533.6	622.2	257.4	135.0	75.0	45.6
平均承受總重量(g)		1551.36	628.36	260.32	140.96	74.6	44.82

(三)實驗發現：

將表 4-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 4-2 後，發現：

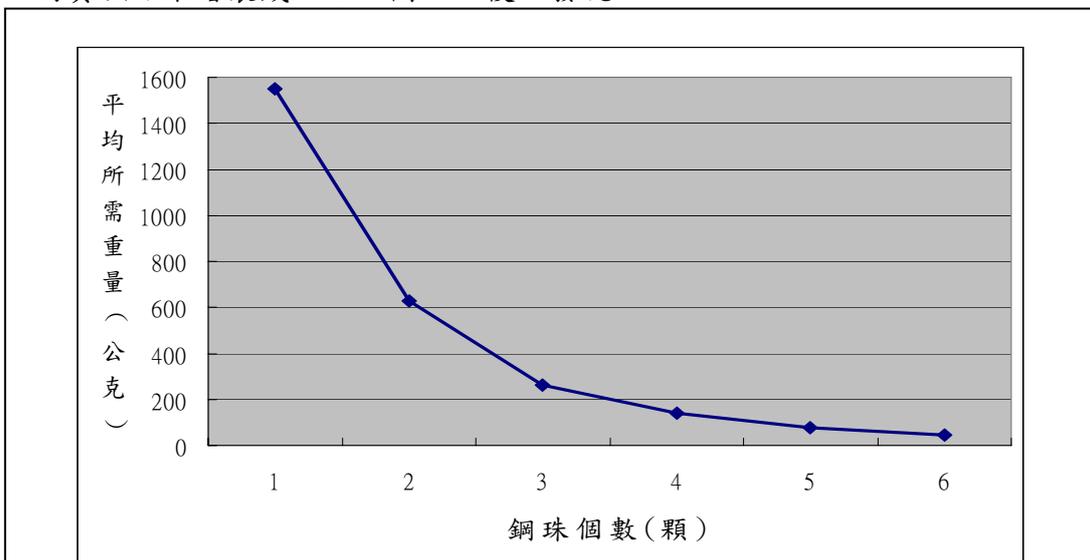


圖 4-2：加速區中在不同鋼珠個數下最右端鋼珠脫離磁鐵所需重量之關係圖。

1. 實驗中不同鋼珠個數下，最右端鋼珠脫離磁鐵所需重量由大至小依序為：1 個鋼珠 > 2 個鋼珠 > 3 個鋼珠 > 4 個鋼珠 > 5 個鋼珠 > 6 個鋼珠。換句話說，加速區中最遠離 MA 磁鐵的鋼珠，受到磁鐵的吸力越小。
2. 1 個鋼珠時，脫離磁鐵所需重量為 1551.36 公克；2 個鋼珠時，脫離磁鐵所需重量為 628.36 公克。兩者所能承受的重量相差 923 公克。從這個實驗可以了解加速區中左 N 右 I 的組合時，右邊的那一顆鋼珠為什麼無法發射出去的原因，是因為第一個鋼珠的位置所受到的吸力太強的緣故。

五、加速區中彈珠個數會如何影響鋼珠撞擊後傳遞的能量？

(一) 研究方法

1. 使用「磁力測量儀進化版」進行實驗。
2. 取 1 個 MA 磁鐵，吸在 V 型軌道前端的鐵片上，在 V 型軌道上放置一個彈珠緊貼著 MA 磁鐵，障礙物緊鄰著彈珠，另一端讓鋼珠 a 自然的被 MA 磁鐵吸引後，觀察最右邊的彈珠是否能發射出去，發射出去的彈珠又能使障礙物移動多少距離(如圖 5-1)。實驗進行 5 次，再求取障礙物的平均移動距離。
3. 在 MA 磁鐵的另一端增至 2、3、4、5、6 顆彈珠，重複步驟 2 的實驗。

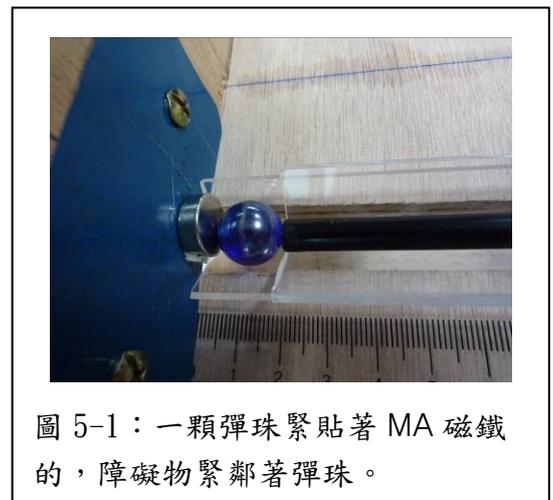


圖 5-1：一顆彈珠緊貼著 MA 磁鐵的，障礙物緊鄰著彈珠。

(二) 實驗結果

表 5-1：加速區中不同彈珠個數及其障礙物移動距離之一覽表

移動距離(cm) 實驗次數	彈珠個數					
	1	2	3	4	5	6
1	29.4	22.3	20.5	19.8	18.4	17.6
2	27.0	22.6	21.6	19.4	18.0	17.4
3	27.2	22.4	20.7	19.8	18.6	17.4
4	27.0	22.8	19.7	19.8	17.8	18.0
5	28.4	22.6	21.6	19.8	18.8	17.6
平均移動距離(cm)	27.8	22.5	20.8	19.72	18.3	17.6
備 註	撞出 1 顆彈珠。	會撞出 2 顆彈珠。	會撞出 3 顆彈珠。	會撞出 4 顆彈珠。	會撞出 5 顆彈珠。	會撞出 6 顆彈珠。

(三) 實驗發現

將表 5-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 5-2 後，發現：

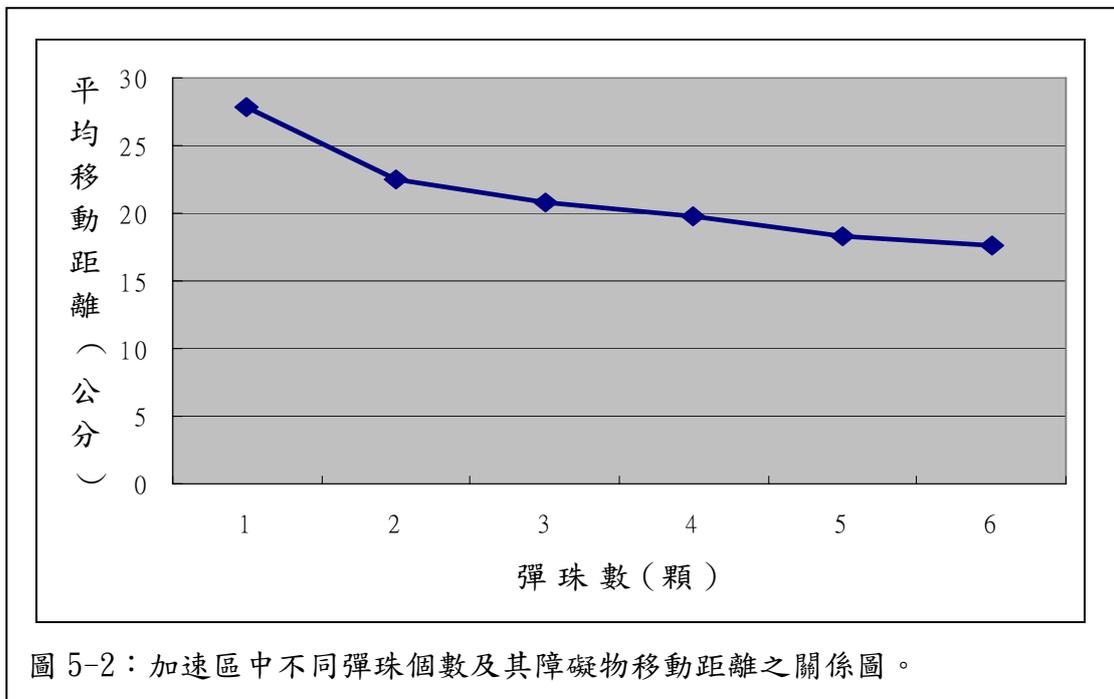


圖 5-2：加速區中不同彈珠個數及其障礙物移動距離之關係圖。

1. 加速區中不同彈珠個數的障礙物移動距離由大至小依序是：1 顆彈珠 > 2 顆彈珠 > 3 顆彈珠 > 4 顆彈珠 > 5 顆彈珠 > 6 顆彈珠。說明左邊所傳來的撞擊力道會因右邊的彈珠數量多寡而產生些微的能量衰減現象。
2. 實驗中發現，當鈷鐵錒磁鐵右邊為 2、3、4、5、6 顆彈珠時，左邊鋼珠一撞擊磁鐵，右邊的 2、3、4、5、6 顆彈珠就會一起被發射出。但是原本的加速區中彈珠的位置是鋼珠時，只有當鈷鐵錒磁鐵右邊為 5 或 6 顆鋼珠時，左邊鋼珠一撞擊鈷鐵錒磁鐵，最右邊的 2 顆鋼珠就會一起被發射出去。這說明原本加速區中鈷鐵錒磁鐵右邊的 4 顆鋼珠未被發射出去是因為受到磁鐵磁力吸引的緣故。

六、不同個數的磁鐵和鋼珠之組合是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？

(一) 研究方法：

1. 先將 1 個 MA 磁鐵分別與 3~7 個鋼珠 a 形成各種可發射出去的碰撞組合，所有組合的形式如下表 6-1 所示：

表 6-1：MA 磁鐵分別與 3~7 個鋼珠 a 的各種可彈出的組合形式及圖樣一覽表

磁鐵數 鋼珠 a 總數	1 個 MA 磁鐵與不同鋼珠 a 個數的組合形式及圖樣		
3	左 1 右 2		
4	左 1 右 3		
5	左 1 右 4		
	左 2 右 3		
6	左 1 右 5		
	左 2 右 4		
7	左 1 右 6		
	左 2 右 5		左 3 右 4

2. 將上述的所有組合一一放在軌道上進行如下的實驗，以左1右4的組合為例：在軌道上放置1個MA磁鐵及其右邊的4個鋼珠a，在MA磁鐵的左邊輕放1個鋼珠a，讓鋼珠a自然的被MA磁鐵吸引，觀察最右邊的鋼珠a是否能發射出去，發射出去的鋼珠a又能使障礙物移動多少距離。每種組合的實驗進行5次，再求取障礙物移動的平均距離。



圖 6-1：磁鐵 MA 的個數從 1 個增至 6 個。

3. 將磁鐵 MA 個數增至 2、3、4、5、6 個(如圖 6-1)，重複進行步驟 1 及步驟 2 的實驗。

(二) 實驗結果：

表 6-2：不同 MA 磁鐵數與不同鋼珠 a 個數之組合的障礙物移動距離一覽表

鋼珠排列 磁 鐵 數 移動 距離 (cm)		不同 MA 磁鐵數與不同鋼珠 a 個數的組合形式								
		左 1 右 2	左 1 右 3	左 1 右 4	左 2 右 3	左 1 右 5	左 2 右 4	左 1 右 6	左 2 右 5	左 3 右 4
1 個 MA 磁 鐵	1	53.6	58.1	64.8	3.5	55.8	5.2	48.5	6.8	0.1
	2	53.2	57.8	65.9	3.6	53.8	5.1	49.2	6.7	0.2
	3	53.2	58.1	64.5	3.6	53.3	5.5	48.6	6.6	0.1
	4	53.5	58.2	65.3	3.4	53.1	5.4	51.4	6.8	0.1
	5	53.5	58.3	65.8	3.6	53.2	5.7	51.5	6.2	0.2
	平均	53.4	58.1	65.26	3.54	53.84	5.38	49.84	6.62	0.14
2 個 MA 磁 鐵	1	55.4	59.5	66.1	3.7	60.3	5.5	55.7	7.2	0.2
	2	55.6	59.3	66.3	3.7	60.5	5.5	55.7	7.5	0.2
	3	55.6	59.3	66.3	3.6	61	5.4	56.4	7.5	0.2
	4	55.5	59.6	66.5	3.6	60.6	5.2	56.2	7.1	0.3
	5	55.1	59.4	66.3	3.7	61	5.4	55.9	7.1	0.3
	平均	55.44	59.42	66.3	3.66	60.68	5.4	55.98	7.28	0.24
3 個 MA 磁 鐵	1	58.3	62.8	68.9	4.2	65.4	5.9	61.2	8.8	0.4
	2	58.3	63.5	68.6	4.2	65.3	5.8	61.5	8.5	0.4
	3	58.1	62.5	68.5	4.1	64.9	5.6	61.8	8.6	0.3
	4	57.8	62.4	69	4.2	65.3	5.6	62.1	8.8	0.3
	5	57.7	62.4	68.6	4.1	65.1	5.7	61.8	8.5	0.4
	平均	58.04	62.72	68.72	4.16	65.2	5.72	61.68	8.64	0.36

4 個 MA 磁 鐵	1	59.6	64.2	69.2	4.5	68.4	6.2	66.3	9.2	0.5
	2	59.1	64.2	69.7	4.5	68.3	6.3	66.6	9.4	0.4
	3	59.2	64.1	70.2	4.3	68.4	6.4	66.2	9.1	0.3
	4	59.1	63.8	70.4	4.5	68.5	6.2	66.3	9.2	0.4
	5	59.4	63.8	70.6	4.4	68.4	6.9	66.3	9.2	0.4
	平均	59.28	64.02	70.02	4.44	68.4	6.4	66.34	9.22	0.4
5 個 MA 磁 鐵	1	60.7	66.6	82.6	4.8	79.5	9.2	73.1	11.8	0.5
	2	61.1	65.9	83.7	4.7	77.5	9	73.1	11.9	0.4
	3	60.7	65.5	83.6	4.8	77.7	9.4	73.4	11.8	0.5
	4	60.9	66.3	82.6	4.6	77.5	10	73.4	11.8	0.5
	5	61.2	65.8	83.7	4.7	78.6	9.8	73.3	11.9	0.4
	平均	60.92	66.02	83.24	4.72	78.16	9.48	73.26	11.84	0.46
6 個 MA 磁 鐵	1	59.6	64.2	71.3	3	73.1	8	68	6	0.4
	2	59.6	64.5	72.8	3.2	72.3	8.2	68.2	6.2	0.4
	3	59.5	64.3	74.1	3.3	71	8.2	68	6.1	0.3
	4	59.6	64.3	74.4	3.1	71	8	68.1	6.1	0.5
	5	59.4	64.2	74.1	3.2	72.5	8.2	68.3	6	0.5
	平均	59.54	64.3	73.34	3.16	71.98	8.12	68.12	6.08	0.42

(三) 實驗發現：

將表 6-2 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 6-2 後，發現：

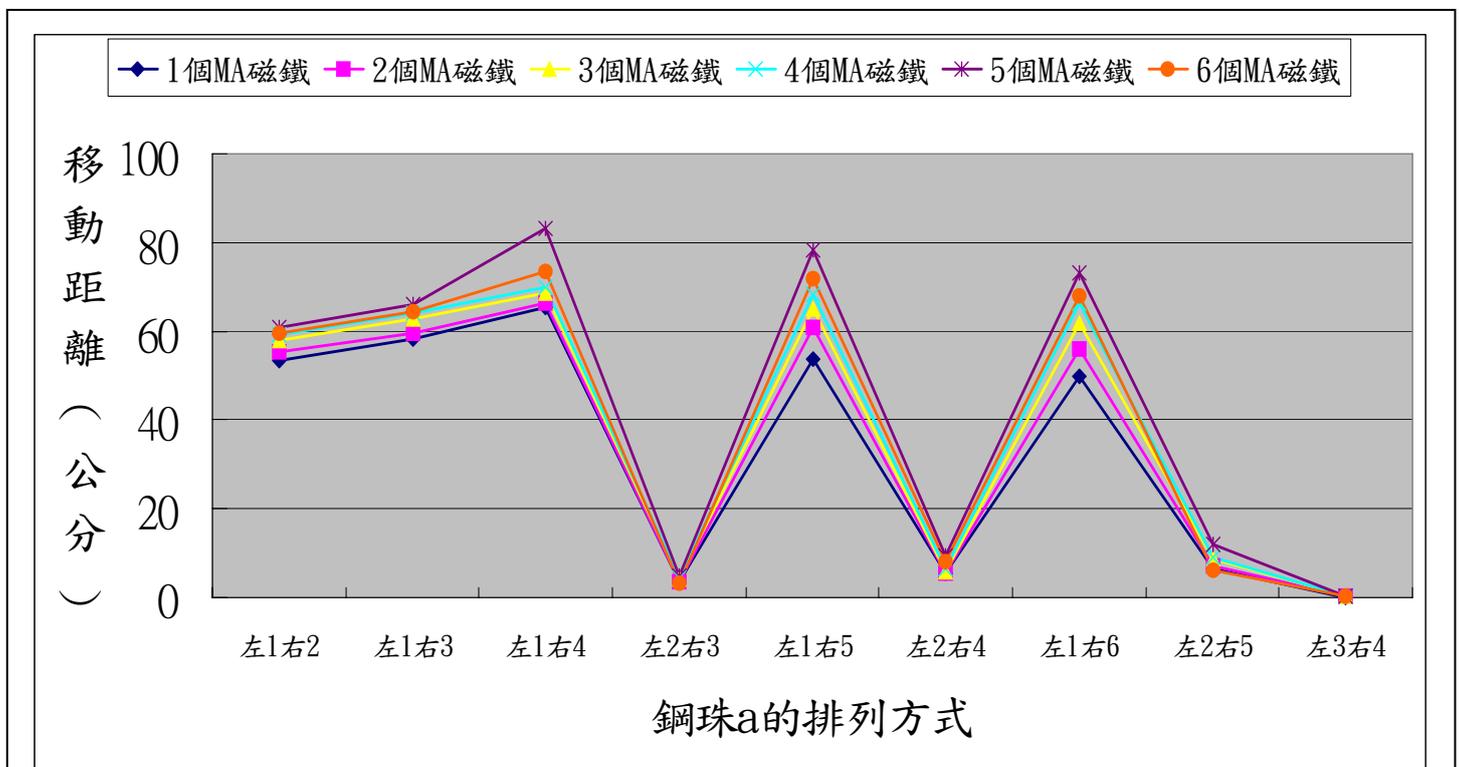


圖 6-2：不同 MA 磁鐵數與不同鋼珠 a 個數的組合及其障礙物移動距離之關係圖

- 當鋼珠 a 的排列方式為左 1 右 2、左 1 右 3、左 1 右 4、左 1 右 5、左 2 右 4、左 1 右 6 時，不同個數的 MA 磁鐵其使障礙物的平均移動距離由大至少全部都符合：5 個 MA 磁鐵 > 6 個 MA 磁鐵 > 4 個 MA 磁鐵 > 3 個 MA 磁鐵 > 2 個 MA 磁鐵 > 1 個 MA 磁鐵。其中，5 個 MA 磁鐵，鋼珠的排列方式為左 1 右 4 時，障礙物的平均移動距離最大為 83.24 公分。
- MA 磁鐵 1~6 個時，鋼珠的排列方式都是左 1 右 4 的配對方式能將障礙物推動到最遠的距離。

七、加速區之間的距離是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？

(一) 研究方法：

- 在 V 型軌道上以 MA 磁鐵及鋼珠 a 為材料設計 2 組加速區(如圖 7-1)，2 組加速區間的距離為 2.5 cm，障礙物距最右端鋼珠 5 cm。
- 在 MA 磁鐵的左邊輕放 1 個鋼珠 a，讓鋼珠 a 自然的被 MA 磁鐵吸引，觀察最右邊的鋼珠 a 是否能發射出去，又發射出去的鋼珠 a 能使障礙物移動多少距離。重複實驗 5 次，求取障礙物移動距離的平均值。
- 依序改變 2 組加速區之間的距離為 5cm、7.5cm、10cm，重複步驟 2 實驗。

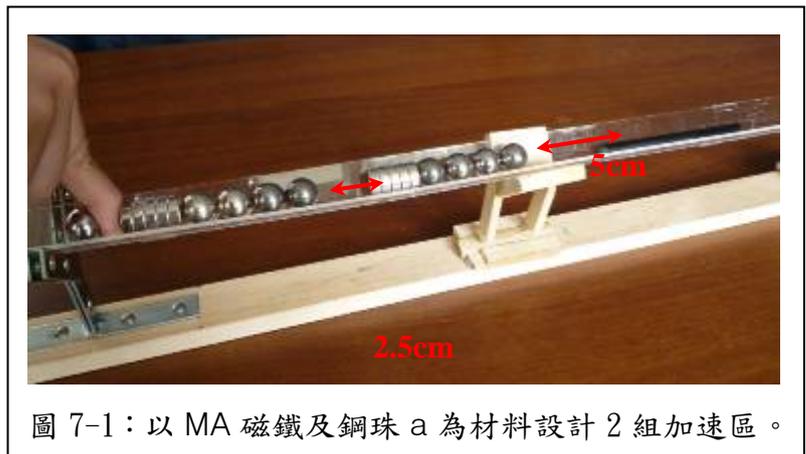


圖 7-1：以 MA 磁鐵及鋼珠 a 為材料設計 2 組加速區。

(二) 實驗結果：

表 7-1：不同加速區間的距離與障礙物移動距離之一覽表

實驗次數	加速區間距離			
	2.5cm	5 cm	7.5 cm	10 cm
1	160.6	152.1	136.2	122.2
2	161.1	152.8	133.0	120.8
3	163.2	153.5	132.6	122.5
4	160.7	152.0	134.4	121.7
5	163.1	151.3	132.8	122.3
平均移動距離(公分)	161.7	152.3	133.8	121.9

(三) 實驗發現：

將表 7-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 7-2 後，發現：

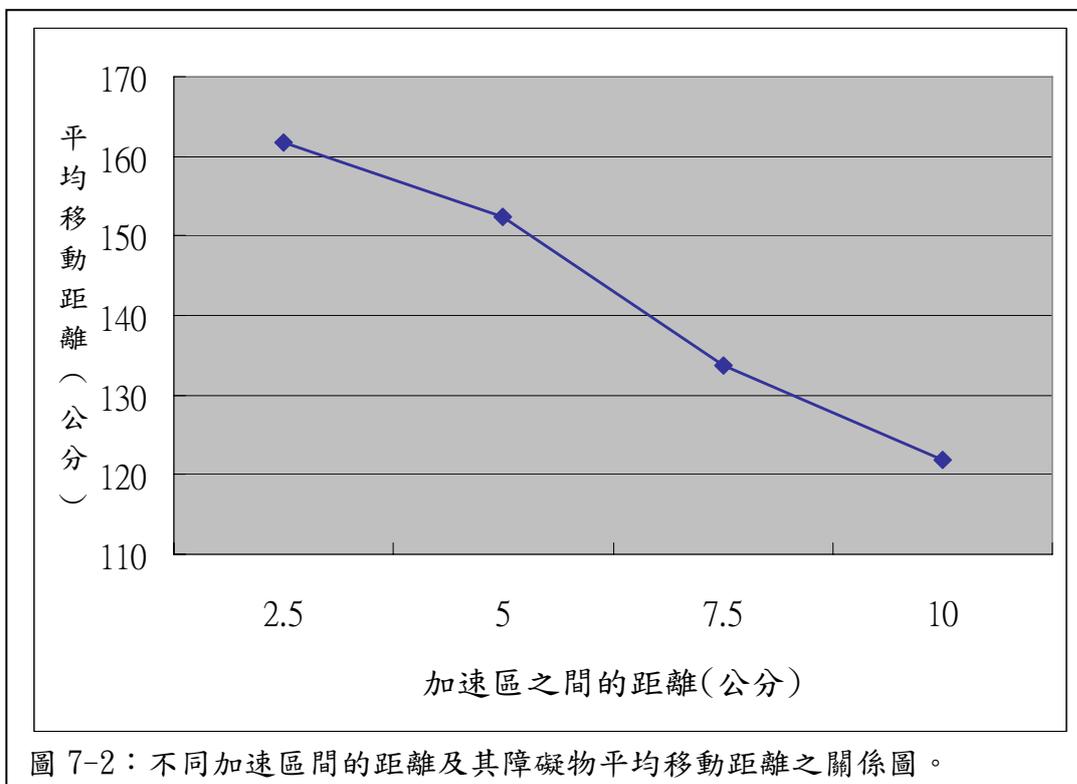


圖 7-2：不同加速區間的距離及其障礙物平均移動距離之關係圖。

1. 兩組加速區間的距離不同時，其障礙物移動距離由大至小依序是：2.5 公分 > 5 公分 > 7.5 公分 > 10 公分。其中當兩組加速區間的距離為 2.5 公分時，最右邊鋼珠彈出撞到障礙物後，障礙物的平均移動距離最大為 161.7 公分。
2. 子題六的實驗發現只有 1 組加速區(5 個 MA 磁鐵與鋼珠 a 成左 1 右 4 組合)時，障礙物移動的距離為 83.24 公分，但增加 1 組同樣的加速區時，障礙物移動的距離增為 161.7 公分，兩者相差 78.46 公分。由此可知，增加第 2 組加速區也會增加最右端鋼珠彈出的力道。那如果增加第 3 組、第 4 組…加速區時，最右端鋼珠彈出的力道也會增加嗎？我們決定在下一個子題中找出答案。

八、加速區的組數是否會影響鋼珠推動障礙物的距離？

(一) 研究方法：

1. 在 V 形軌道上以 5 個 MA 磁鐵及 4 個鋼珠 a 為材料設計 1 組加速區，在 MA 磁鐵的左邊輕放 1 個鋼珠 a，讓鋼珠 a 自然的被 MA 磁鐵吸引，觀察最右邊的鋼珠 a 是否能發射出去，又發射出去的鋼珠 a 能使障礙物移動多少距離。重複實驗 5 次，求取障礙物移動距離的平均值。
2. 依序增加第 2、3、4、5 組加速區(如圖 8-1)，每組加速區之間的距離為 2.5 公分，並重複步驟 1 實驗。

(二) 實驗結果：



圖 8-1：五組加速區的實驗裝置圖。最右端鋼珠距障礙物 5 公分。

表 8-1：不同組數的加速區與障礙物移動距離之一覽表

實驗次數	加速區組數				
	1	2	3	4	5
1	82.6	160.6	166.0	172.8**	183.8**
2	83.7	161.1	169.7	170.9**	178.2**
3	83.6	163.2	169.2	171.1**	177.7**
4	82.6	160.7	167.9	171.4**	182.3**
5	83.7	163.1	166.1	172.9**	183.4**
平均移動距離(公分)	83.24	161.7	167.8	171.8**	181.1**

註：表格內符號「*」的個數表示鈷鐵錒磁鐵最右邊共有幾個鋼珠一起被發射出。

(三) 實驗發現：

將表 8-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 8-2 後，發現：

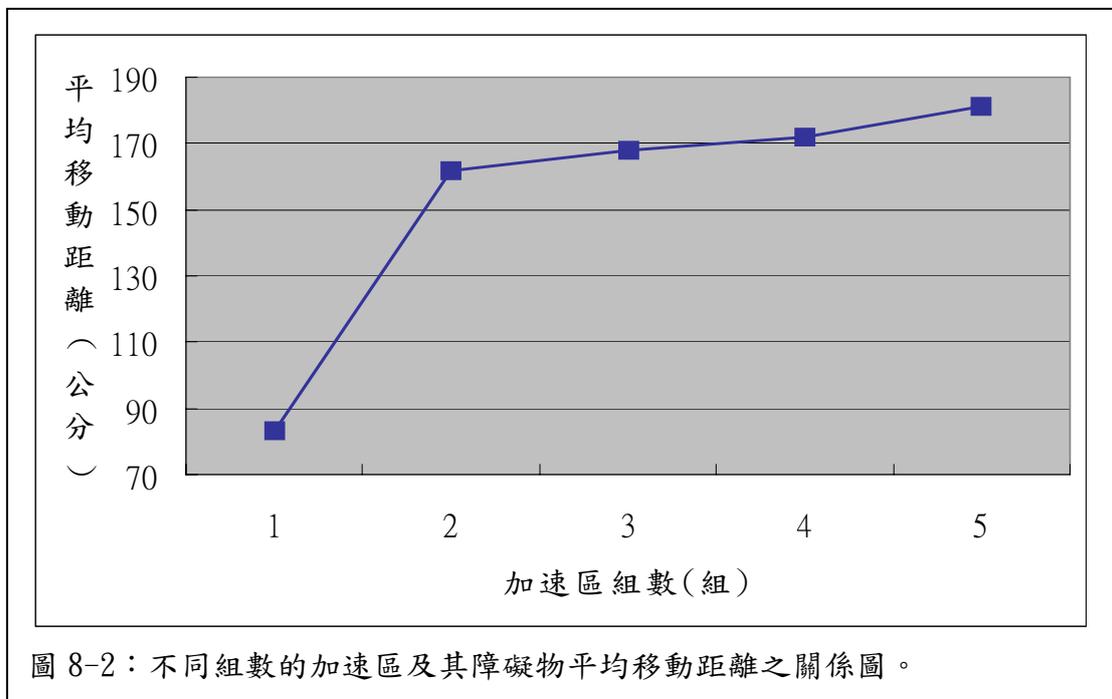
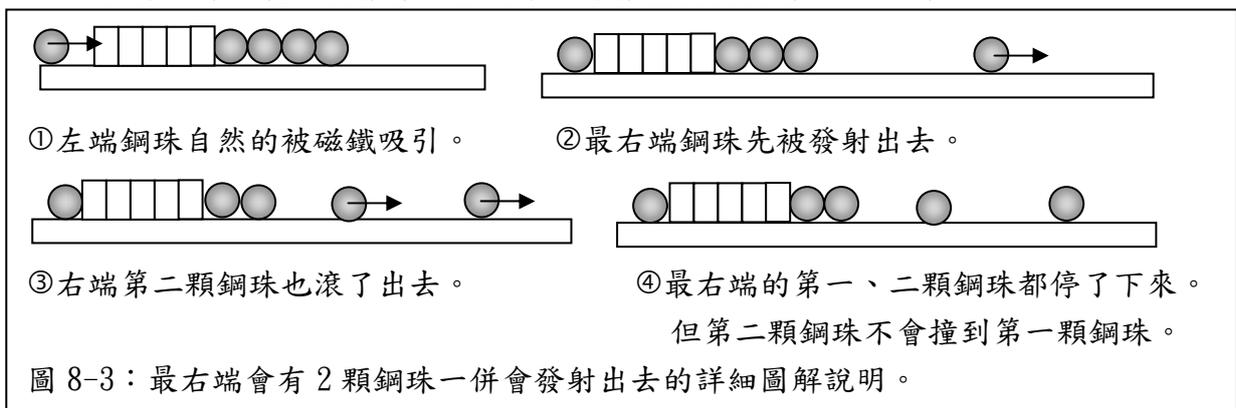


圖 8-2：不同組數的加速區及其障礙物平均移動距離之關係圖。

1. 加速區組數不同時，障礙物移動距離由大至小依序是：5 組 > 4 組 > 3 組 > 2 組 > 1 組。其中 5 組加速區時，最右邊鋼珠彈出撞到障礙物後，障礙物平均移動距離最大為 181.1 公分。
2. 加速區為 1~5 組時，2 組加速區與 1 組加速區障礙物的平均移動距離差距最大為 78.46 公分；而其他 3 組與 2 組加速區或 4 組與 3 組加速區或 5 組與 4 組加速區障礙物的平均移動距離之差距最大不超過 10 公分。
3. 4、5 組加速區時，最右端會有 2 顆鋼珠一併會發射出去（如圖 8-3）。



4. 由實驗結果中可以推測出加速區的組數越多，最右邊鋼珠彈出的力道越強，但是因受限於V型軌道的長度，所以無法繼續增加加速區的組數，非常可惜。



「碰撞儀」在生活中的應用

根據子題三~子題八的實驗，我們找到在現有的材料中可以發射出最強力道的磁鐵與鋼珠的碰撞組合，我們將這組合稱為「碰撞儀」。我們希望這「碰撞儀」不只是一個可以玩的科學玩具而已，希望它還可以應用在我們的生活中。可是，什麼地方會應用到這「碰撞儀」呢？

正當我們絞盡腦汁時，忽然有一天，氣候大轉變，從連續幾天的萬里無雲轉變成狂風大作，教室的門常常被突然而至的狂風撞到牆壁而發生巨響嚇到同學。因此，我們靈機一動，決定利用「碰撞儀」來測量常常貼於門後的防撞材質之耐衝擊力道比較。

為能比較防撞材質之耐衝擊力道，我們計劃修改原「碰撞儀」軌道設計(如圖8-4~8-7)，在軌道中段處加裝可以夾、可以更換防撞材質的裝置。



圖 8-6：軌道鐵製支架改為銅製支架，可避免磁力影響。



圖 8-7：報夾設計可以更換防撞材質。

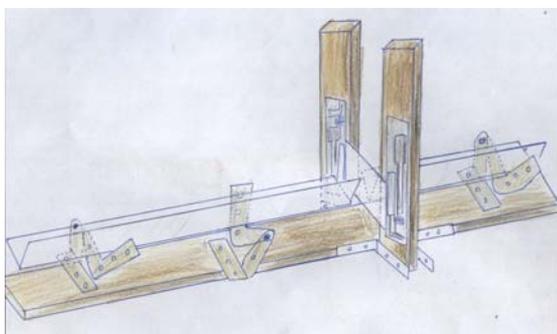


圖 8-4：為進行防撞材質之耐衝擊力道比較之軌道設計圖。



圖 8-5：為進行防撞材質之耐衝擊力道比較之軌道完成品。

九、利用「碰撞儀軌道改良版」測量不同防撞材質的反彈及能量傳遞情形。

(一) 研究方法：

1. 用「碰撞儀軌道改良版」進行實驗。在軌道上放3組加速區，每組間隔2.5公分(如圖9-1)。
2. 原「碰撞儀」中磁鐵與鋼珠組合可發射出最強力道鋼珠，但發射出的鋼珠撞到防撞材質後會發生反彈，有時撞上某些防撞材質後的鋼珠會反彈到原加速區處，所以我們想設計一個由鋼珠和磁鐵組合而成的緩衝區，緩衝區緊鄰著防撞材質。經由多次試驗我們發現一組理想的緩衝區組合，如圖9-2。三組加速區最右端的鋼珠距緩衝區65公分。
3. 依序在報夾設計區更換6種不同的防撞材質，分別為壓克力、保麗龍、硬泡棉、塑膠瓦楞板、瓦楞紙板、軟泡棉，每種防撞材質的長7.5cm，寬2cm，厚0.3cm(如圖9-2)。



圖 9-1：3組加速區，每組加速區間隔2.5公分。

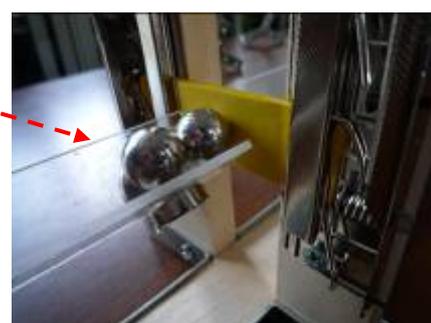


圖 9-2：①緩衝區的磁鐵與鋼珠組合。②報夾設計可更換不同防撞材質。

4. 觀測不同防撞材質的反彈情形：

在 3 組加速區的左方輕放一顆鋼珠，讓鋼珠自然的被磁鐵吸引，觀察 3 組加速區最右邊的鋼珠在撞到緩衝區後，記錄緩衝區前方鋼珠反彈的距離。

5. 觀測不同防撞材質的能量傳遞情形：

報夾後方放一鋼珠，障礙物緊貼著報夾後方鋼珠。在 3 組加速區左方輕放一顆鋼珠，讓鋼珠自然的被磁鐵吸引，觀察 3 組加速區最右邊的鋼珠發射出去撞到緩衝區及防撞材質後，報夾後方鋼珠推動障礙物的移動距離（如圖 9-3）。報夾後方鋼珠移動障礙物的距離，表示撞擊能量經由防撞材質傳遞過去的情形。

7. 用平面磁力線測量儀及立體磁力線測量儀（如圖 9-4）觀察軌道上各區磁力線分布情形（如圖 9-5）。



圖 9-3：障礙物緊鄰著報夾後方鋼珠。



圖 9-4：立體磁力線測量儀。



圖 9-5：立體磁力線測量儀在軌道各區觀察磁力線分布。

（二）實驗結果：

1. 測量報夾前方鋼珠反彈的距離以及報夾後方鋼珠移動的距離：

表 9-1：不同防撞材質其前方鋼珠反彈的距離及後方障礙物移動距離一覽表

移動距離 實驗次數	防撞材質		壓克力		保麗龍		硬泡棉		塑膠瓦楞板		瓦楞紙板		軟泡棉	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
1	27.3	12.8	7.4	9.2	7.1	10.0	5.9	10.5	5.7	4.6	3.1	10.7		
2	20.5	12.3	8.1	10.0	5.3	12.0	7.4	13.1	6.9	4.7	2.5	9.6		
3	30.0	13.0	7.9	8.2	6.4	11.2	6.8	10.6	6.6	6.5	2.8	10.5		
4	21.1	12.5	7.8	7.5	5.7	10.8	7.3	11.9	7.7	6.1	2.1	8.4		
5	24.9	14.0	8.4	9.5	5.9	11.5	6.2	10.3	6.0	6.0	2.6	8.8		
平均距離(cm)	24.76	12.92	7.92	8.88	6.08	11.1	6.72	11.28	6.58	5.58	2.62	9.6		

2. 利用鐵粉板分析軌道上各區段所呈現的磁力線結果如下（如圖 9-6~圖 9-7）：



圖 9-6：加速區磁力線分布。

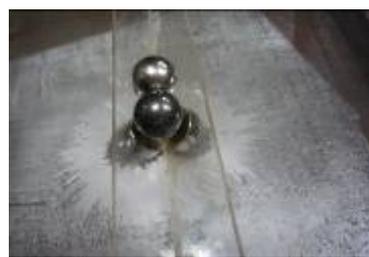


圖 9-7：緩衝區磁力線分布。

(三) 實驗發現：

將表 9-1 的實驗結果繪製成 EXCEL 圖 9-8 後，發現：

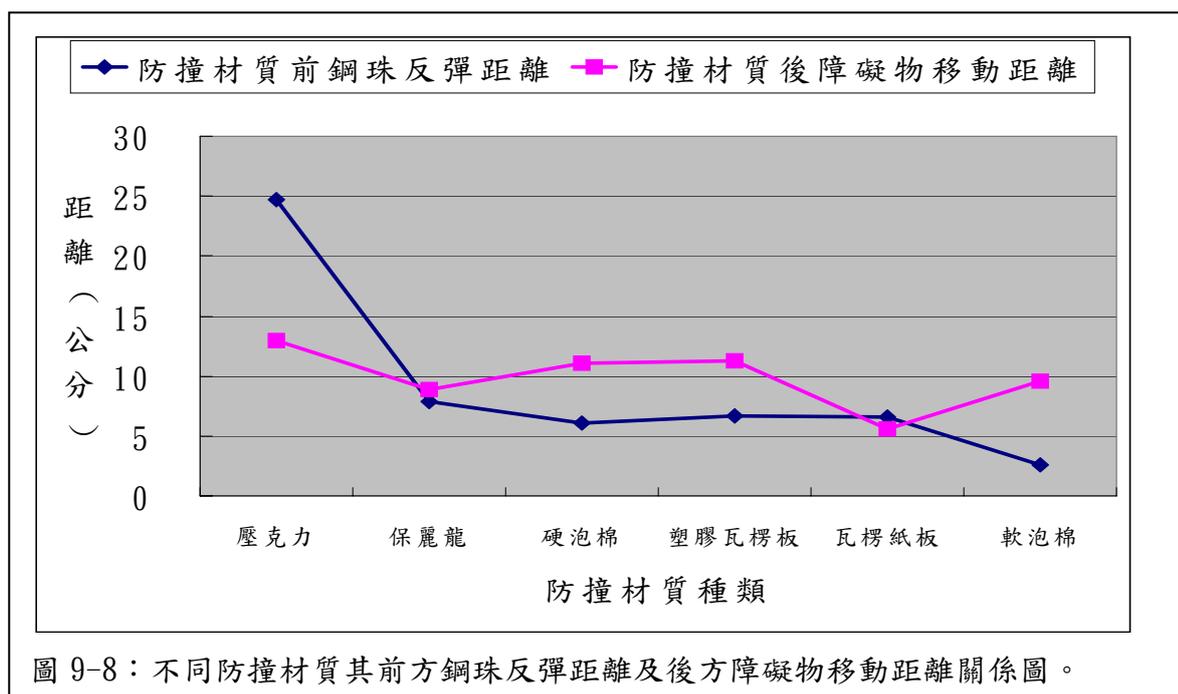


圖 9-8：不同防撞材質其前方鋼珠反彈距離及後方障礙物移動距離關係圖。

1. 不同防撞材質其前方鋼珠反彈距離由大至小依序為：壓克力 > 保麗龍 > 塑膠瓦楞板 > 瓦楞紙板 > 硬泡棉 > 軟泡棉。其中，強力鋼珠撞到壓克力的反彈距離最大，為 24.76cm；強力鋼珠撞到軟泡棉的反彈距離最小，為 2.62cm。換句話說，不同防撞材質能吸收強大撞擊力量的能力為軟泡棉 > 硬泡棉 > 瓦楞紙板 > 塑膠瓦楞板 > 保麗龍 > 壓克力。
2. 不同防撞材質其後方障礙物移動距離由大至小依序為：壓克力 > 塑膠瓦楞板 > 保麗龍 > 硬泡棉 > 軟泡棉 > 瓦楞紙板。不同防撞材質其後方障礙物移動距離越大，表示傳遞過去的撞擊能量越大。其中，壓克力後方障礙物移動距離最大為 12.92cm；瓦楞紙板後方障礙物移動距離最小為 5.58cm。
3. 由立體磁力線測量儀可看出加速區磁力相當大，但磁鐵右邊磁力會隨著鋼珠增加導致磁力減弱；由平面磁力線測量儀可看出緩衝區磁力多集中於軌道下方。

柒、討論

- 一、實驗五「加速區中彈珠個數會如何影響鋼珠撞擊後傳遞的能量？」中，我們發現倘若鋼珠、磁鐵、彈珠三者的中心沒有保持同一直線時，左邊鋼珠被磁鐵吸引所產生的撞擊能量傳遞到右邊的彈珠時，力道的分散將導致右邊的彈珠發生強烈的彈跳後落下才開始推動障礙物(如圖 9-9)，且因強烈的彈跳導致能量損耗，使得障礙物移動距離減少。未避免此種情形發生，實驗時我們會特別注意將鋼珠、磁鐵、彈珠三者中心保持在同一直線上，

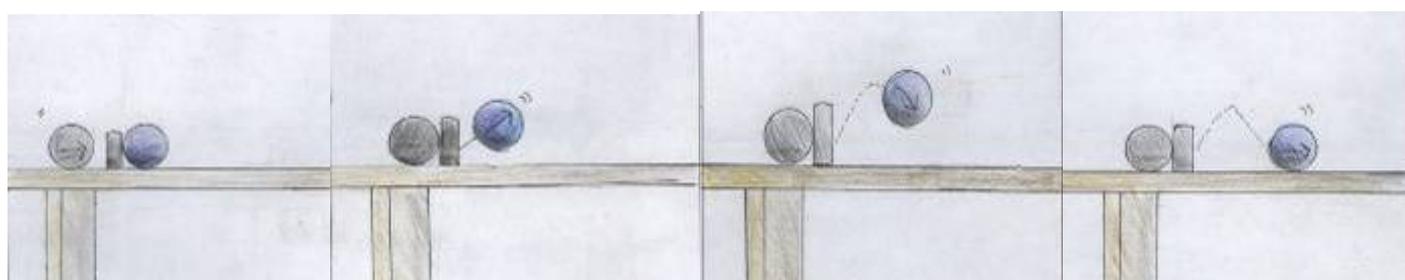


圖 9-9：鋼珠、磁鐵、彈珠三者的中心沒有保持同一直線時，鋼珠被磁鐵吸引後，右邊彈珠會發生強烈彈跳後落下才開始推動障礙物。

二、在進行實驗三~實驗九之前，我們進行各種測試想了解磁鐵在軌道上固定與否，會影響鋼珠推動障礙物的距離嗎？我們分別嘗試磁鐵完全不固定的放在軌道上（如圖 9-10）、使用透明膠帶讓磁鐵上半部固定在軌道上（如圖 9-11）、使用泡棉膠讓磁鐵下半部固定在軌道上（如圖 9-12）、使用透明膠帶纏繞軌道的方式讓磁鐵幾乎完全固定（如圖 9-13）、使用熱熔膠和膠帶將磁鐵完全固定（如圖 9-14）等五種方式進行實驗，並用攝影機拍攝下來，使用繪聲繪影軟體的慢速播放功能來分析磁鐵的晃動情形。我們發現：

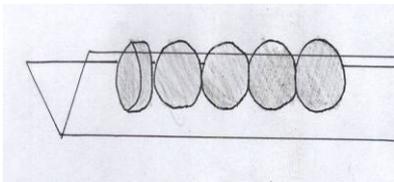


圖 9-10：磁鐵完全不固定的放在軌道上。

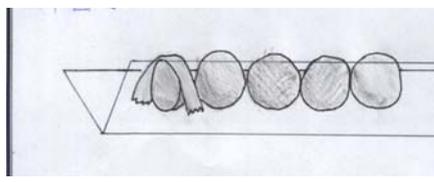


圖 9-11：使用透明膠帶讓磁鐵上半部固定在軌道上。

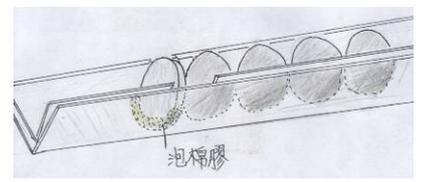


圖 9-12：使用泡棉膠讓磁鐵下半部固定在軌道上。

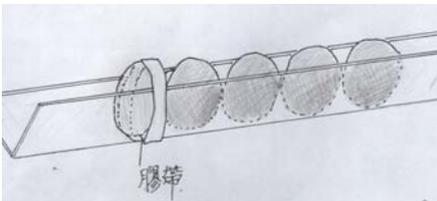


圖 9-13：使用透明膠帶纏繞軌道方式讓磁鐵幾乎完全固定。

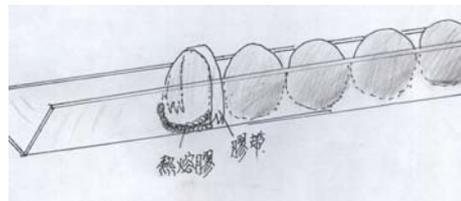


圖 9-14：使用熱熔膠和膠帶將磁鐵完全固定。

1. 當**磁鐵完全不固定**的放在軌道上時，以左 1 右 4 的排列進行實驗，當最右端鋼珠發射出去的同時，**整個磁鐵**會因作用力與反作用力的關係而**後退**約 1.5~3.5 公分，障礙物移動距離是五種方式中距離最少的。
2. 當使用透明膠帶讓**磁鐵上半部固定**在軌道上時，當最右端鋼珠發射出去的同時，**磁鐵**會因作用力與反作用力的關係**下半部往後晃動**約 5-10 度角(如圖 9-15)。我們還發現，磁鐵晃動角度越大，障礙物移動的距離越短，我們推測是因為磁鐵晃動的角度越大，導致能量傳遞時損耗的越多，使得鋼珠發射出去的力道變小。
3. 當使用泡棉膠讓**磁鐵下半部固定**在軌道上時，當最右端鋼珠發射出去的同時，**磁鐵**會因作用力與反作用力的關係**上半部往後晃動**約 5-10 度角(如圖 9-16)。我們也發現，磁鐵晃動角度越大，障礙物移動的距離越短，我們推測是因為磁鐵晃動的角度越大，導致能量傳遞時損耗的越多，使得鋼珠發射出去的力道變小。

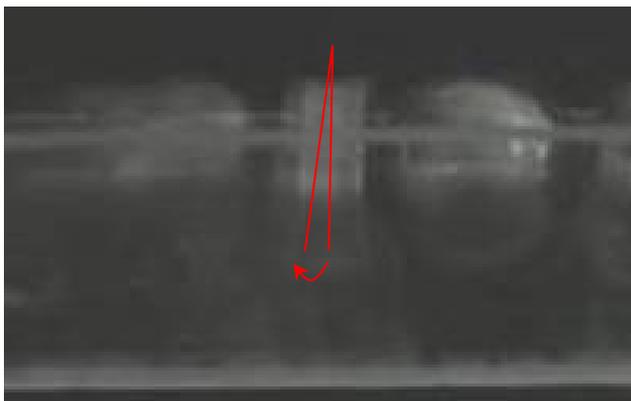


圖 9-15：磁鐵上半部固定，鋼珠發射出去時，磁鐵下半部後傾約 5-10 度角。

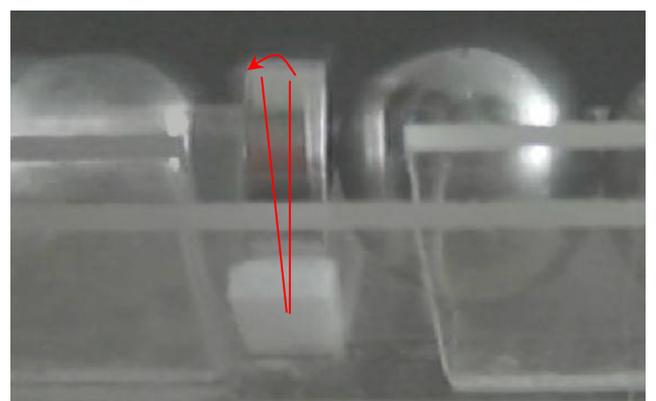


圖 9-16：磁鐵下半部固定，鋼珠發射出去時，磁鐵上半部後傾約 5-10 度角。

4. 當使用透明膠帶纏繞軌道的方式讓**磁鐵幾乎完全固定**時，當最右端鋼珠發射出去的同時，**磁鐵幾乎不會震動**，最右端的鋼珠發射出去時，障礙物移動距離是五種方式中最遠的。
5. 當使用熱熔膠和膠帶將**磁鐵完全固定**時，當最右端鋼珠發射出去的同時，**磁鐵完全不會震動**，但是最右端的鋼珠發射出去時障礙物移動距離比第 4 種方式減少約 10-15 公分。
6. 有了以上的測試實驗，我們知道使用透明膠帶纏繞軌道的方式讓磁鐵幾乎完全固定時，可使最右端鋼珠發射的力道最大，障礙物移動的距離最遠，所以在實驗三~實驗九中，我們都以此方式進行研究。

三、在實驗三~實驗九中，我們發現當鋼珠與磁鐵呈左 1 右 5 或是左 1 右 6 的排列時，會同時發射出兩個鋼珠。但若在左 1 右 5 排列中的第 4 顆鋼珠貼上膠帶固定（如圖 9-17），以及在左 1 右 6 排列中的第 5 顆鋼珠貼上膠帶固定（如圖 9-18），則能只發射出一顆鋼珠，且可增加障礙物移動的距離。我們以能量傳遞的觀點來推測原因：同時發射出兩顆鋼珠時，因重量重，會使兩個鋼珠的移動速度比只發射出一顆鋼珠的移動速度慢，所以若以膠帶固定最右端數來的第二顆鋼珠，則可只發射出一顆鋼珠，可增加鋼珠的發射速度。

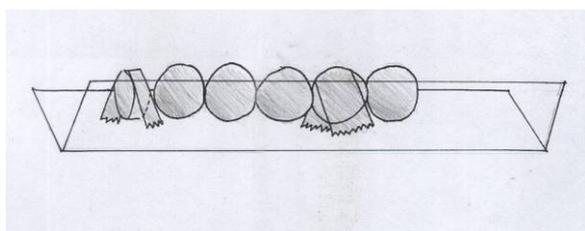


圖 9-17: 左 1 右 5 排列中的第 4 顆鋼珠貼上膠帶固定。

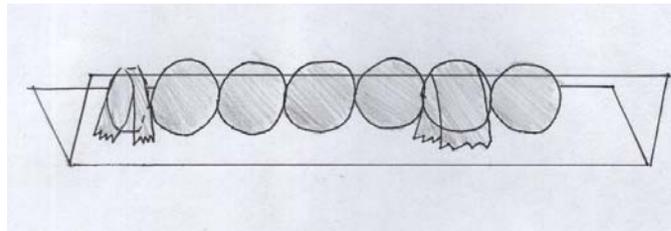


圖 9-18: 在左 1 右 6 排列中的第 5 顆鋼珠貼上膠帶固定。

捌、結論

- 一、實驗一中得知，軌道材質會影響鋼珠滾動的距離。用發射器在各種不同材質的軌道上發射鋼珠，平均滾動距離最大的是壓克力。所以我們用壓克力來製作能適合各種不同尺寸的鈹鐵錒磁鐵和鋼珠的 V 型軌道。
- 二、實驗二中得知，利用「滑輪磁力測量儀」測量所蒐集到的七種不同尺寸的鈹鐵錒磁鐵，發現鈹鐵錒磁鐵的厚度越厚或直徑越大，它的重量也越重。而鈹鐵錒磁鐵重量越重，其所能承受的平均重量也越大，表示其磁力也越強。
- 三、實驗三中得知，所蒐集的鈹鐵錒磁鐵 MA~MG，及鋼珠 a、b、c、d 中：
 1. 鋼珠 a 與磁鐵 MA 的左 1 右 4 配對，使鋼珠 a 能發射出最強的力道，障礙物移動距離為 65.3 公分。
 2. 鋼珠 b 與磁鐵 MB 的左 1 右 4 配對，使鋼珠 b 能發射出最強的力道，障礙物移動距離為 30.6 公分。
 3. 鋼珠 c 與磁鐵 MC 的左 1 右 4 配對，使鋼珠 c 能發射出最強的力道，障礙物移動距離為 28.8 公分。

4. 鋼珠 d 與磁鐵 MC 的左 1 右 4 配對，使鋼珠 d 能發射出最強的力道，障礙物移動距離為 9.4 公分。
5. 鋼珠 a、b、c、d 與分別與直徑相仿的磁鐵最速配（如表 9-2）。

鋼珠編號	a	b	c	d
鋼珠直徑 (cm)	1.5	1	0.9	0.75
最速配磁鐵編號	MA	MB	MC	MC
最速配磁鐵直徑	1.5	1.2	1	1

- 四、實驗四中透過「磁力測量儀進化版」得知加速區中最遠離鈷鐵錳磁鐵的鋼珠，受到鈷鐵錳磁鐵的吸力越小。而且因為第一個鋼珠所受到的吸力太強，導致加速區中左 N 右 1 的組合時，磁鐵右邊的那一顆鋼珠無法發射出去。
- 五、實驗五中透過「磁力測量儀進化版」得知，磁鐵左邊所傳來的撞擊力道會因右邊的彈珠數量多寡而產生些微的能量衰減現象。
- 六、實驗四、五中，我們也可以了解某些磁鐵和鋼珠的組合，會使最右端的兩顆鋼珠一起被發射出，是因為對於這 2 顆鋼珠而言，磁鐵左邊所傳來的撞擊力道已經大於本身所受到的磁鐵吸力。
- 七、實驗六中得知，加速區中的 MA 磁鐵為 1~6 個時，5 個 MA 磁鐵與 a 鋼珠呈現左 1 右 4 的組合時，最右端的鋼珠能發射出最強的力道，障礙物移動距離為 83.24 公分，我們推測是因為左邊的鋼珠受到 5 個磁鐵的強力吸引所產生的巨大撞擊能量傳遞過去的關係。但是 6 個 MA 磁鐵與 a 鋼珠的任意組合，都使最右端的鋼珠能發射的力道減弱，根據實驗四的結果推測是因為最右端的鋼珠所受到的吸力變大的緣故。
- 八、實驗七中得知，兩組加速區間距離越短，最右端的鋼珠能發射出較強的力道。
- 九、實驗八中得知，加速區的組數越多，最右端的鋼珠能發射出的力道也越強。
- 十、實驗九中得知，不同的防撞材質中，軟泡棉較能吸收強大的撞擊力量，導致鋼珠的反彈距離小；而壓克力傳遞過去的撞擊能量最大，使得鋼珠後方的障礙物移動距離最大。

捌、參考資料

- 一、山田弘（2008）。圖解物理學。易博士出版社。
- 二、左卷健男、瀧川洋二（2005）。愛上物理實驗課（上）。世茂出版社。
- 三、帕克（2005）。牛頓物理駕訓班。天下文化。
- 四、戴爾芬·葛林堡（2007）。滾動的遊戲。天下雜誌。

【評語】 080105

- 1.團隊表現佳，建議增加文獻閱讀。
- 2.傳達應加以改進。
- 3.科展內容應注意系統化設計。