

裝訂線

屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：「磁」威顯赫-磁射砲

關鍵詞：磁力、力與運動、_____（最多三個）

裝訂線

編號：A2068

裝訂線

摘要

這個研究因為課後社團課老師帶著我們進行磁射砲的實驗後讓我們有了靈感與興趣，來探討影響磁射砲射出威力的因素有那些，試著找出最佳的裝置規格。

研究發現在放置鋼珠方面，強力磁鐵後方放置 3 顆鋼珠時可以得到最佳的效果。鋼珠的規格會造成實驗結果的影響，最主要的影響跟鋼珠軌道與鋼珠直徑有關，是否能順利在軌道上滾動成了實驗關鍵。在放置強力磁鐵數量上，並非越多越好，為了達到較佳的吸引力有能兼具良好的能量傳導，需要堆疊一定的磁鐵數量已達到較佳的射出效果。最後我們知道，撞擊磁鐵的材質質量越大，較能產生較佳的威力。

磁射砲射出鋼珠時的速度也是一個值得研究的議題，待未來再做進一步的深入探討。

壹、研究動機

在三年級自然與生活科技課時，我們認識了磁鐵會吸引鐵製物質的特性，而這學期在上課後科學社團時，老師帶著我們操作了一項有趣的科學動手做：「磁射砲」。他的另外一個名稱又稱為「高斯槍」，這個實驗真的很神奇，原本的在滾動的鋼珠撞到靜止的鋼珠時，靜止的鋼珠滾動速度頂多與剛剛滾動的鋼珠的速度差不多，但是，如果在靜止的鋼珠前面用磁鐵吸引著，藉由滾動鋼珠滾向磁鐵並撞擊，在磁鐵後方的鋼珠會因為磁鐵吸引滾動的鋼珠而產生更快的速度射出去！我們覺得很有趣，在課後與老師討論後，便決定來研究這項實驗，讓自己化身成為一位探究到底的科學家，透過各項變因的改變，來找出磁射砲背後所蘊含的科學原理。






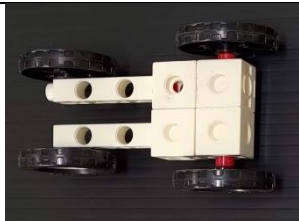



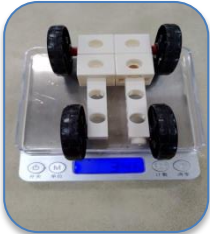









貳、研究目的

本次研究將透過設計出磁射砲的實驗裝置，從實驗中了解磁射砲作用的原理，並且從中了解到影響磁射砲威力的因素有哪些。因此，本研究的研究目的有：

- 一、 末端鋼珠數目不同對磁射砲產生的力道差異。
- 二、 改變不同大小的鋼珠對磁射砲產生的力道差異。
- 三、 不同磁鐵數目對磁射砲產生的力道差異。
- 四、 增加不同數量的磁鐵加速裝置對磁射砲產生的力道差異。
- 五、 不同材質的球體撞擊裝置對磁射砲產生的力道差異。
- 六、 末端鋼珠數目不同對磁射砲射出鋼珠的速度差異。

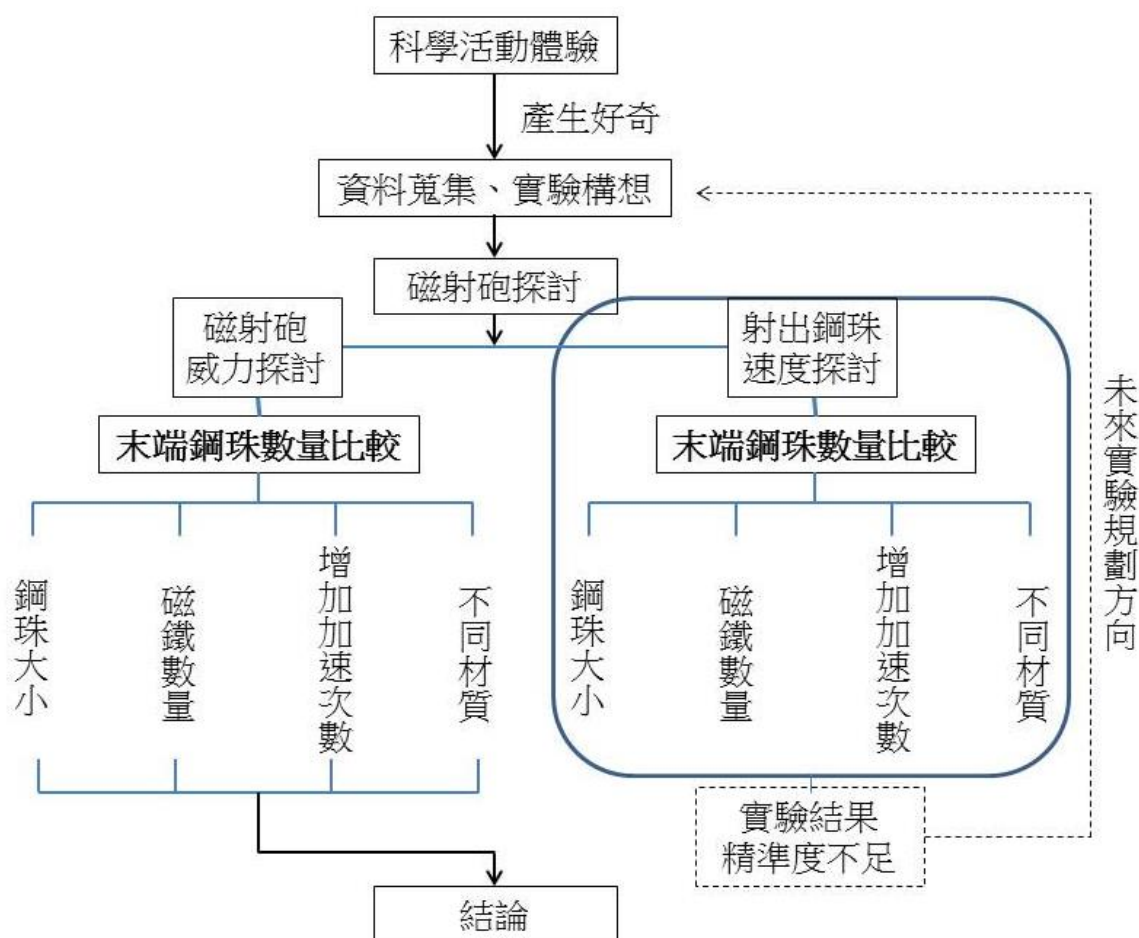
- 七、 改變不同大小的鋼珠對磁射砲射出鋼珠的速度差異。
- 八、 不同磁力大小對磁射砲射出鋼珠的速度差異。
- 九、 增加不同數量的磁鐵加速裝置對磁射砲射出鋼珠的速度差異。
- 十、 不同材質的球體撞擊裝置對磁射砲射出鋼珠的速度差異。

參、研究設備與器材

實驗儀器：				
自製磁射槍軌道：				
以智高積木製作出可移動式鋼珠發射台，與軌道夾角約 40 度。底部軌道以鋁製窗簾架為鋼珠軌道，每次實驗皆以固定高度將鋼珠滾落。				
實驗器材：				
鋼珠：由左至右鋼珠直徑分別為 9mm、10mm、11mm、12mm、12.7mm、14mm		由左至右分別為 16mm 玻璃彈珠、16mm 瓷製圓珠及 25mm 玻璃彈珠		
				
強力磁鐵：直徑 10mm、厚 2mm		直徑 10mm、厚 5mm		
				
自組智高積木滑車、電子秤、皮尺、游標尺、直尺、攝影機				
				
質量測量：				
滑車：34.8g	9mm 鋼珠：3.5g	10mm 鋼珠：4.0g	11mm 鋼珠：5.5g	12mm 鋼珠：7.1g
				
12.7mm 鋼珠：8.4g	14mm 鋼珠：11.2g	16mm 玻璃珠：5.3g	16mm 瓷珠：4.9g	25mm 玻璃珠：20.2g
				

肆、研究過程及方法

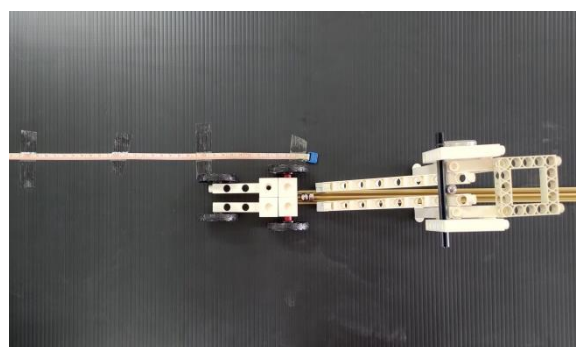
一、實驗架構：



二、實驗步驟：

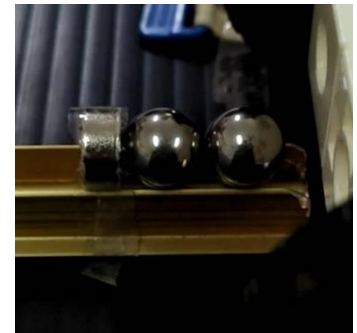
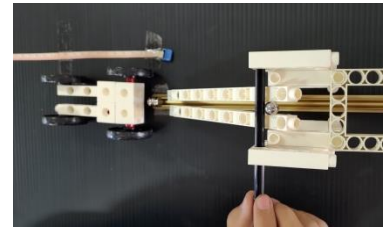
(一) 實驗一：末端鋼珠數目不同對磁射砲產生的力道差異。

如果用磁鐵來加速撞擊，可以使末端的鋼珠有更快的速度向前射出，但如果末端鋼珠太少，磁鐵的磁力可能會變成射出的阻力，所以我們要先找出最佳的鋼珠數量，來做後續實驗的設置，這次的實驗選用直徑為 9mm 的鋼珠及直徑 10mm、厚 5mm 的強力磁鐵來操作，透過鋼珠射



出後撞擊前方的滑車，來觀察滑車前進的距離。依照鋼珠撞擊滑車後使滑車移動的距離差射，來做為射出鋼珠的威力比較。實驗步驟如下：

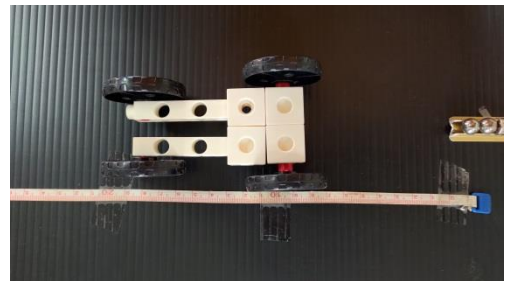
1. 將直徑 10mm、厚度 5mm 的強力磁鐵至於軌道末端，定位後以膠帶固定在軌道上。
2. 在磁鐵接近末端的方向放置 1 顆、2 顆、3 顆、4 顆、5 顆 9mm 鋼珠，並讓鋼珠被磁鐵磁力吸住，鋼珠末端距離軌道末端 0.5 公分。
3. 將發射台固定在距離磁鐵前方 5cm 處，並將插銷插上讓鋼珠固定在斜坡頂端。
4. 將滑車車身最尾部對齊跑道刻度 0cm 的位置，準備接受鋼珠射出後的撞擊。
5. 抽出插銷讓鋼珠沿著斜坡滾下進入軌道，並撞擊前方強力磁鐵，後方最末端鋼珠飛出後撞擊滑車，滑車向前滾動停止後，記錄滑車前進的距離，做五次取平均值。



(二) 實驗二：改變不同大小的鋼珠對磁射砲產生的力道差異。

從實驗一後，後續實驗磁鐵末端皆以 2 顆鋼珠作為測量的依據。以不同的鋼珠作為磁射砲裝置比較威力的差異，步驟如下：

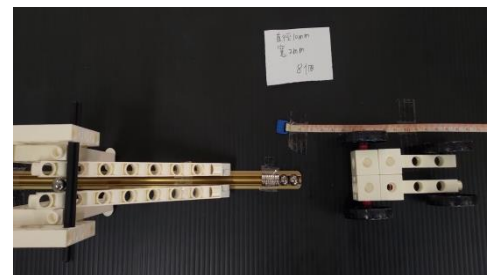
1. 將直徑 10mm、厚度 5mm 的強力磁鐵至於軌道末端，後方皆吸引 2 顆鋼珠做實驗，定位後以膠帶固定在軌道上。
2. 以 9mm、10mm、11mm、12mm、12.7mm 及 14mm 五種鋼珠規格做實驗，每組實驗發射台上的鋼珠及磁鐵後方的 2 顆鋼珠規格皆相同。



後續步驟同實驗一 步驟 3 至步驟 5。

(三) 實驗三：不同磁鐵數目對磁射砲產生的力道差異。

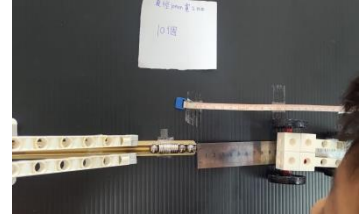
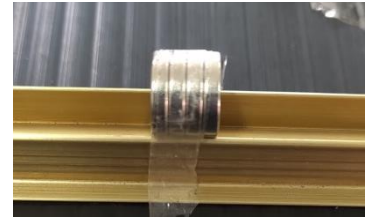
磁力與磁射砲對鋼珠的加速關係密不可分，我們透過增加相同規格的磁鐵相互吸引，我們認為會使磁鐵的磁力線集中，應能產生更大的磁力。但相對的，堆疊後的磁鐵厚度也增加了磁鐵，所以我們決定以不同磁鐵的數目來作為磁射砲裝置比較威力的差



異，步驟如下：

1. 此實驗選取 9mm 的鋼珠做為本實驗的鋼珠規格，將強力磁鐵至於軌道末端，後方皆吸引 2 顆鋼珠做實驗，定位後以膠帶固定在軌道上。
2. 以直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵來做堆疊實驗的單位磁鐵，並以堆疊 2 片、堆疊 4 片、堆疊 6 片、堆疊 8 片以及堆疊 10 片磁鐵做實驗，每組實驗發射台上的鋼珠及磁鐵後方的 2 顆鋼珠規格皆相同。

後續步驟同實驗一 步驟 3 至步驟 5。



(四) 實驗四：增加不同數量的磁鐵加速裝置對磁射砲產生的力道差異。

磁射砲經過磁鐵的加速後，能讓末端鋼珠快速射出，如果在軌道上增加更多的加速裝置，是否能讓鋼珠產生更快的速度，產生更大的威力，所以我們決定以增加加速裝置的數量來作為磁射砲裝置比較威力的差異，步驟如下：



1. 此實驗選取 9mm 的鋼珠做為本實驗的鋼珠規格，每組加速裝置皆以直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵 4 片相吸，並在後方吸引 2 顆鋼珠，每組加速裝置以鋼珠的最末端至另一組加速裝置的磁鐵彼此相距 1 公分來擺設。
 2. 以 0 組額外加速裝置、1 組額外加速裝置、2 組額外加速裝置以及 3 組額外加速裝置做實驗，每組實驗發射台上的鋼珠及磁鐵後方的 2 顆鋼珠規格皆相同。
 3. 最後一組加速器之末堆鋼珠距離軌道末端 0.5 公分。
- 後續步驟同實驗一 步驟 3 至步驟 5。



(五) 實驗五：不同材質的球體撞擊裝置對磁射砲產生的力道差異。

本次實驗藉由不同規格的鋼珠及其他材質的球體撞擊



磁鐵，產生作用力後試著讓末端的鋼珠射出，並探討不同材料的球體碰撞後磁射砲裝置威力的差異，步驟如下：

1. 此實驗選取 9mm 的鋼珠做為本實驗的鋼珠規格，將強力磁鐵至於軌道末端，後方皆吸引 2 顆鋼珠做實驗，定位後以膠帶固定在軌道上。
2. 改變發射台上的球體來撞擊磁射砲裝置，以 12mm 鋼珠、14mm 鋼珠、16mm 玻璃珠、16mm 瓷珠以及 25mm 玻璃珠作為滾動用的球體，用以碰撞磁鐵使末端鋼珠射出。



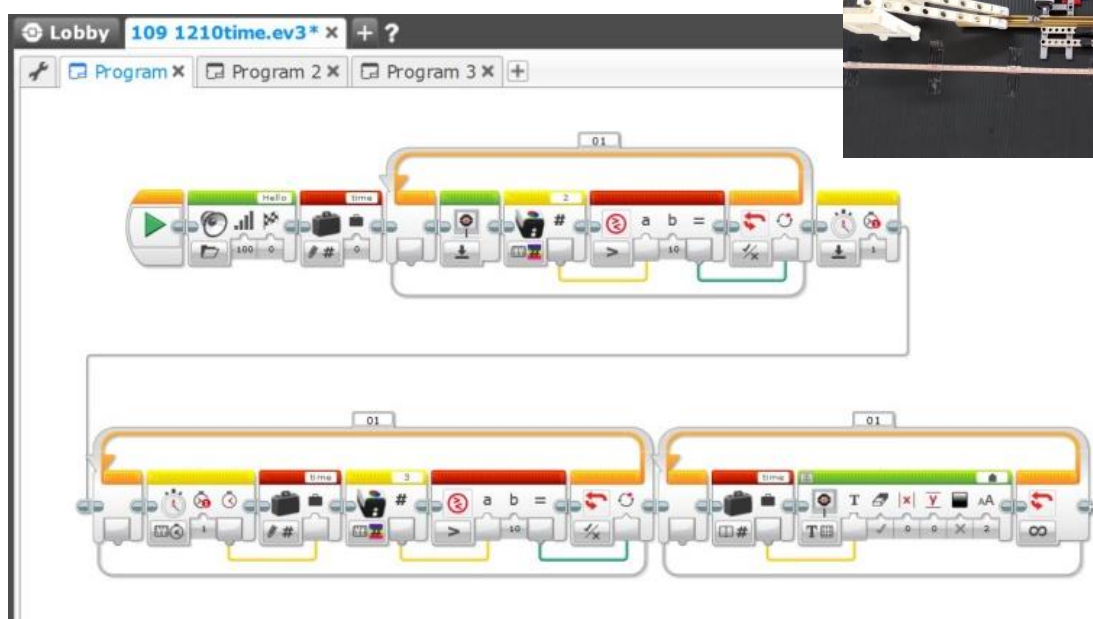
後續步驟同實驗一 步驟 3 至步驟 5。

(六) 實驗六：末端鋼珠數目不同對磁射砲出鋼珠的速度差異。

本實驗想透過實驗設計來蒐集出在末端鋼珠數量不同時，末端射出的鋼珠射出的速度為何？來找出最佳的磁射砲設計，為了獲取需要的數據，我們設計了兩種實驗方法來試圖獲取鋼珠速度資訊，一種為以樂高 Mindstorm EV3 結合顏色感測器設計之測速裝置，另一種為以慢動作攝影搭配影片剪輯分析速度兩種方式。實驗步驟如下：

1. 自製樂高 Mindstorm EV3 測速裝置：

EV3 裝置程式碼：



實驗步驟與方法：

- (1) 發射台架設如實驗一，在斜坡後 5 公分處放置一直徑 10mm、厚度 5mm 的強力磁鐵。
- (2) 磁鐵後端分別擺設 1 個、2 個、3 個、4 個及 5 個鋼珠準備實驗。
- (3) 將鋼珠軌道放置到自製 EV3 測速裝置上，第一架顏色感測器擺在最末端鋼珠向後退 1 公分的位置，以利感測器做識別。
- (4) 啟動 EV3 感測，並釋放發射器上方鋼珠，碰撞後使末端鋼珠射出，並依序通過第一以及第二架顏色感測器。
- (5) EV3 感測器顯示經過兩點之時間，透過時間計算出鋼珠速度。

2. 慢動作攝影後製影片剪輯分析速度：

- (1) 在軌道上量出一段 30 公分的距離，並用簽字筆在起點及終點的位置塗黑做記號。
- (2) 將發射台與磁鐵及鋼珠如 EV3 測量方法(1)、(2)架設，並將末端鋼珠最末端對齊起點。
- (3) 釋放發射台鋼珠，使末端鋼珠材裝置射出，並用攝影機高畫質慢動作模式每秒紀錄 60 張照片，記錄整個射出的歷程。
- (4) 以威力導演 16 進行影片切割分析，透過切割得到整個過程所需花費的時間，並套入公式： $0.3/(\text{歷程所占格數}/60)$ 獲得鋼珠的平均速度。



(七) 實驗七：改變不同大小的鋼珠對磁射砲出鋼珠的速度差異。

分別以兩項測量方式獲取不同大小的鋼珠射出後的速度，實驗步驟如下：

1. 自製樂高 Mindstorm EV3 測速裝置：

- (1) 磁鐵末端接放置 2 顆鋼珠，發射台上 1 顆鋼珠及磁鐵後方鋼珠規格皆相同。
- (2) 以 9mm、10mm、11mm、12mm、12.7mm 及 14mm 五種鋼珠規格做實驗。後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

2. 慢動作攝影後製影片剪輯分析速度：

- (1) 以 9mm、10mm、11mm、12mm、12.7mm 及 14mm 五種鋼珠規格做實驗。後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

(八) 實驗八：不同磁鐵數目對磁射砲出鋼珠的速度差異。

分別以兩項測量方式獲取不同磁鐵數目對鋼珠射出後的速度，實驗步驟如下：

1. 自製樂高 Mindstorm EV3 測速裝置：

- (1) 磁鐵末端接放置 2 顆鋼珠，發射台上 1 顆鋼珠及磁鐵後方鋼珠規格皆相同。
- (2) 以直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵來做堆疊實驗的單位磁鐵，並以堆疊 2 片、堆疊 4 片、堆疊 6 片、堆疊 8 片以及堆疊 10 片磁鐵做實驗。

後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

2. 慢動作攝影後製影片剪輯分析速度：

- (2) 直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵來做堆疊實驗的單位磁鐵，並以堆疊 2 片、堆疊 4 片、堆疊 6 片、堆疊 8 片以及堆疊 10 片磁鐵做實驗。

後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

(九) 實驗九：增加不同數量的磁鐵加速裝置對磁射砲出鋼珠的速度差異。

分別以兩項測量方式獲取不同數量的磁鐵加速裝置對鋼珠射出後的速度，實驗步驟如下：

1. 自製樂高 Mindstorm EV3 測速裝置：

- (1) 此實驗選取 9mm 的鋼珠做為本實驗的鋼珠規格，每組加速裝置皆以直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵 4 片相吸，並在後方吸引 2 顆鋼珠，每組加速裝置以鋼珠的最末端至另一組加速裝置的磁鐵彼此相距 1 公分來擺設。
- (2) 以 0 組額外加速裝置、1 組額外加速裝置、2 組額外加速裝置以及 3 組額外加速裝置做實驗，每組實驗發射台上的鋼珠及磁鐵後方的 2 顆鋼珠規格皆相同。

後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

2. 慢動作攝影後製影片剪輯分析速度：

- (1) 以 0 組額外加速裝置、1 組額外加速裝置、2 組額外加速裝置以及 3 組額外加速裝置做實驗，每組實驗發射台上的鋼珠及磁鐵後方的 2 顆鋼珠規格皆相同。

後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

(十)實驗十：不同材質的球體撞擊裝置對磁射砲出鋼珠的速度差異。

本次實驗藉由不同規格的鋼珠及其他材質的球體撞擊磁鐵，產生作用力後試著讓末端的鋼珠射出，並探討不同材料的球體碰撞後磁射砲裝置威力的差異，步驟如下：

3. 自製樂高 Mindstorm EV3 測速裝置：

- (1) 此實驗選取 9mm 的鋼珠做為本實驗的鋼珠規格，將強力磁鐵至於軌道末端，後方皆吸引 2 顆鋼珠做實驗，定位後以膠帶固定在軌道上。
- (2) 改變發射台上的球體來撞擊磁射砲裝置，以 12mm 鋼珠、14mm 鋼珠、16mm 玻璃珠、16mm 瓷珠以及 25mm 玻璃珠作為滾動用的球體，用以碰撞磁鐵使末端鋼珠射出。

後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

4. 慢動作攝影後製影片剪輯分析速度：

- (1) 改變發射台上的球體來撞擊磁射砲裝置，以 12mm 鋼珠、14mm 鋼珠、16mm 玻璃珠、16mm 瓷珠以及 25mm 玻璃珠作為滾動用的球體，用以碰撞磁鐵使末端鋼珠射出。

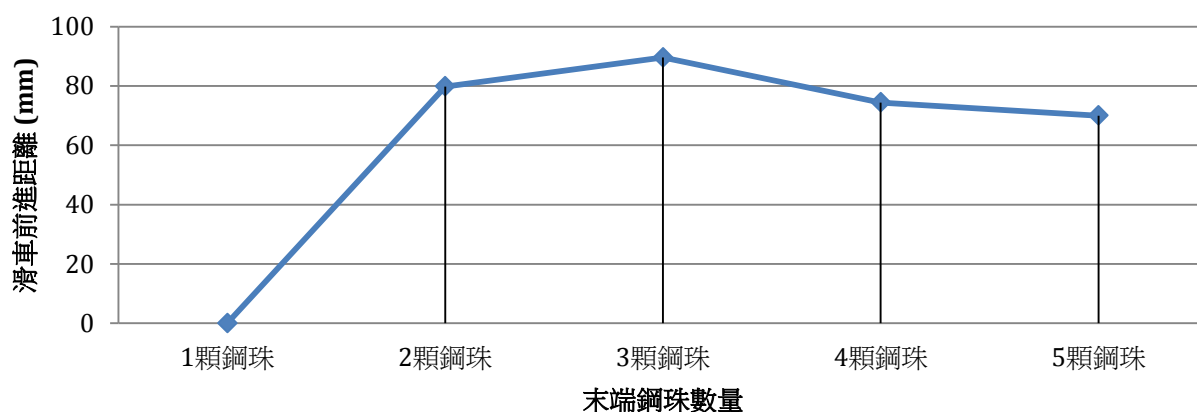
後續步驟同實驗六 (3) 至 (5)。

伍、研究結果與討論

一、實驗一、末端鋼珠數目不同對磁射砲產生的力道差異。

表一 當末端鋼珠數目不同時，滑車接受鋼珠撞擊後的前進距離

項目 \ 距離(mm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
1 顆鋼珠	X	X	X	X	X	X
2 顆鋼珠	90	87	95	42	85	79.8
3 顆鋼珠	92	81	87	90	97	89.6
4 顆鋼珠	92	84	84	73	57	74.4
5 顆鋼珠	56	59	59	83	66	70.0



研究發現：

- (一) 實驗結果並非呈現線性的成長。
- (二) 當末端只有一顆鋼珠時，雖然滾落的鋼珠順利的碰撞了磁鐵，但末端的鋼珠卻依舊停留在磁鐵後方，並沒有因此射出。
- (三) 從結果可以發現，當末端為三顆鋼珠時，射出的鋼珠可以使受撞擊後的滑車有最遠的移動距離，之後再往上加鋼珠，碰撞後的結果不斷下降。

討論：

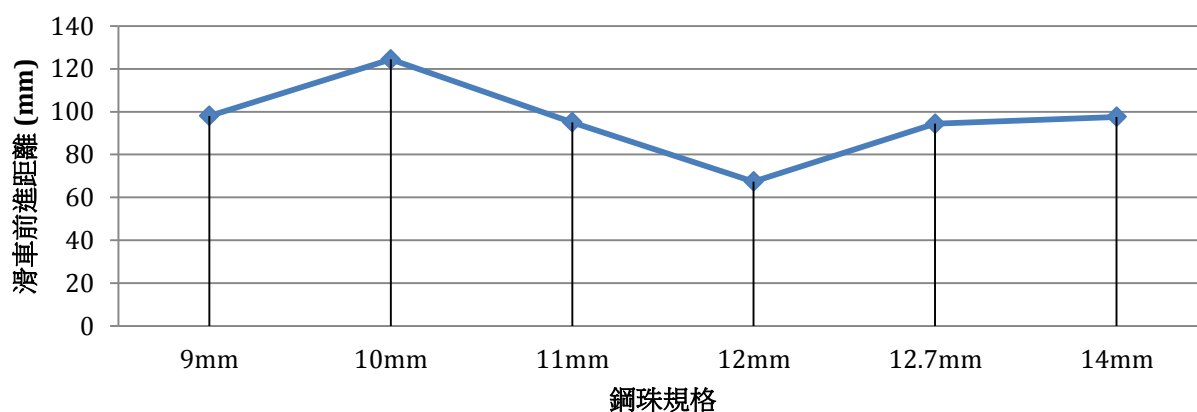
- (一) 雖然磁鐵的吸引力可以在鋼珠碰撞磁鐵前使鋼珠加速，但磁力也可能因此吸引住準備要射出的鋼珠，所以在磁鐵後方，我們應該要擺置一定數量的鋼珠，來減低磁鐵對射出鋼珠的吸引力。
- (二) 然而，如果後方放置鋼珠數量過多，可能因鋼珠擺放位置的些微差異，部分能量傳

導在過程中損失，造成末端鋼珠射出實的速度差異，所以在架設實驗時，末端鋼珠建議擺放 2~4 個來進行實驗，以達到最佳的效果。

二、實驗二、不同鋼珠的大小對磁射砲產生的力道差異。

表二 使用不同的鋼珠大小時，滑車接受鋼珠撞擊後的前進距離

項目 \ 距離(mm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
9mm	83	100	86	111	110	98
10mm	146	156	120	101	99	124.4
11mm	123	67	48	74	163	95
12mm	74	47	79	74	63	67.4
12.7mm	77	116	87	71	121	94.4
14mm	102	92	96	96	102	97.6

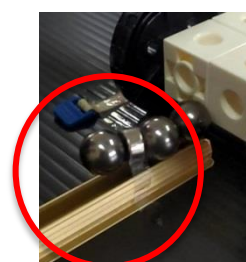


研究發現：

- (一) 從結果上可看出，當我們使用直徑 10mm 的鋼珠時，滑車接受碰撞後可以獲得最遠的前進距離。
- (二) 其他的鋼珠規格在撞擊實驗後，平均距離上並沒有明顯的差異。
- (三) 雖然在滑車前進的平均上沒有顯著的差異，但從逐次的實驗紀錄中我們可以發現，直徑 11mm 的組別最遠與最近的數據相差了 115mm，值得做後續的探討。

討論：

- (一) 當使用直徑規格愈大的鋼珠時，我們以攝影機慢動作影像中發現，從發射台滑下後進入軌道的鋼珠，由於體積增大，造成鋼珠容易因

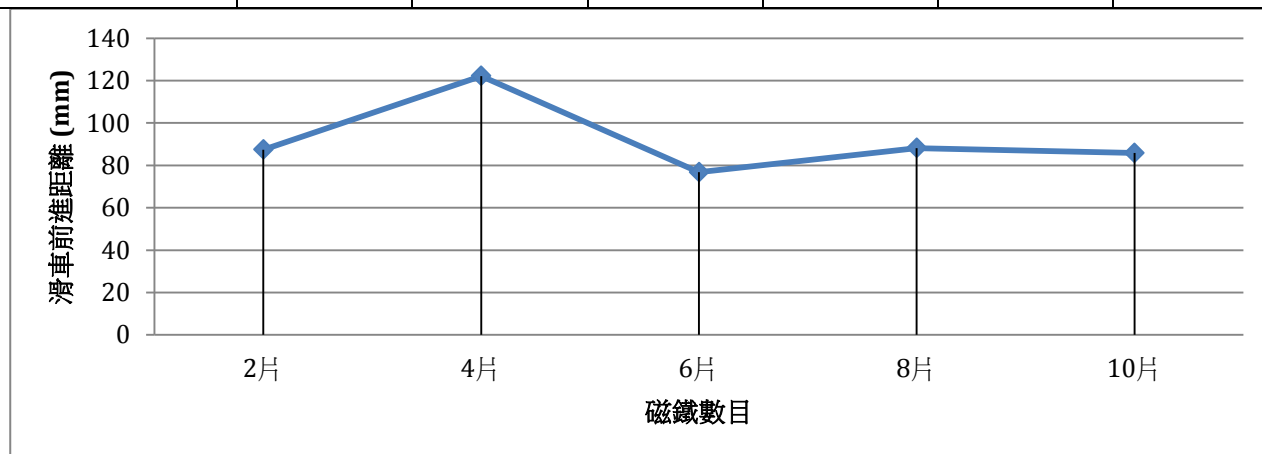


此脫離軌道，甚至在碰撞磁鐵時有彈跳的現象，導致與磁鐵碰撞時並不是以水平的方向撞擊，也因為這樣造成末端鋼珠射出速度因此有所影響。

三、 實驗三、不同磁鐵數量對磁射砲產生的力道差異。

表三 使用不同的磁鐵數量，滑車接受鋼珠撞擊後的前進距離

項目 \ 距離(mm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
2 片	98	89	92	78	80	87.4
4 片	132	100	120	130	129	122.2
6 片	65	70	83	79	87	76.8
8 片	92	101	73	95	80	88.2
10 片	89	87	68	96	89	85.8



研究發現：

(一) 從實驗中發現當 4 片直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵以正負相吸後，能讓末端射出的鋼珠撞擊滑車後前進最遠的距離。

(二) 2 片、6 片、8 片及 10 片磁鐵相互堆疊後的實驗結果上並沒有明顯的差異。

討論：

(一) 我們知道當越多磁鐵相吸堆疊後，可以讓磁鐵的磁力線變得更集中，所以我們認為在鋼珠接近的過程中可以讓撞擊的鋼珠因為磁力的吸引力而得到更快的撞擊速度。但從實驗中發現只有四片磁鐵的效果最佳，其餘的並沒有顯著的差異。

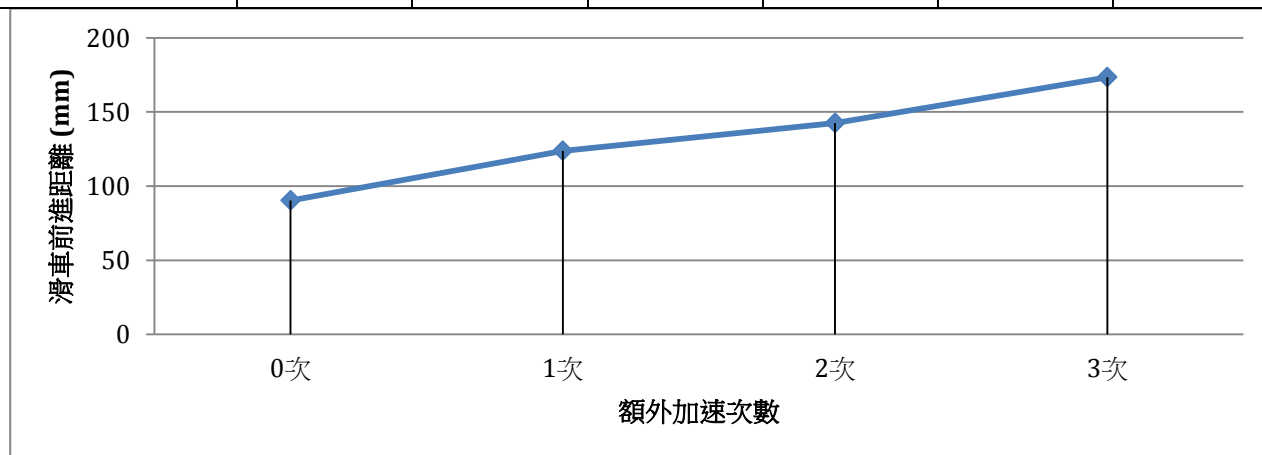
(二) 並非強力磁鐵個數愈多，產生的撞擊力道愈大。我們認為，雖然堆疊起來的磁鐵因磁力線的集中會有較大的吸引力，但相對的，因為磁鐵厚度的關係，將撞擊點與末端鋼珠的距離拉長了，加長了距離能量在傳遞過程中有更多的損失，導致鋼珠射出

後的結果並沒有明顯的差異。

四、 實驗四、加速次數的不同對磁射砲產生的力道差異。

表四 增加不同的加速次數，滑車接受鋼珠撞擊後的前進距離

項目 \ 距離(mm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
0 次	95	80	99	75	103	90.4
1 次	121	131	123	122	122	123.8
2 次	155	143	133	141	141	142.6
3 次	148	166	177	193	183	173.4



研究發現：

- (一) 加速次數愈多，撞擊後可以使滑車前進的距離增加。
- (二) 加速次數愈多，撞擊後末端鋼球射出的速度從慢動作影片中有明顯增加。

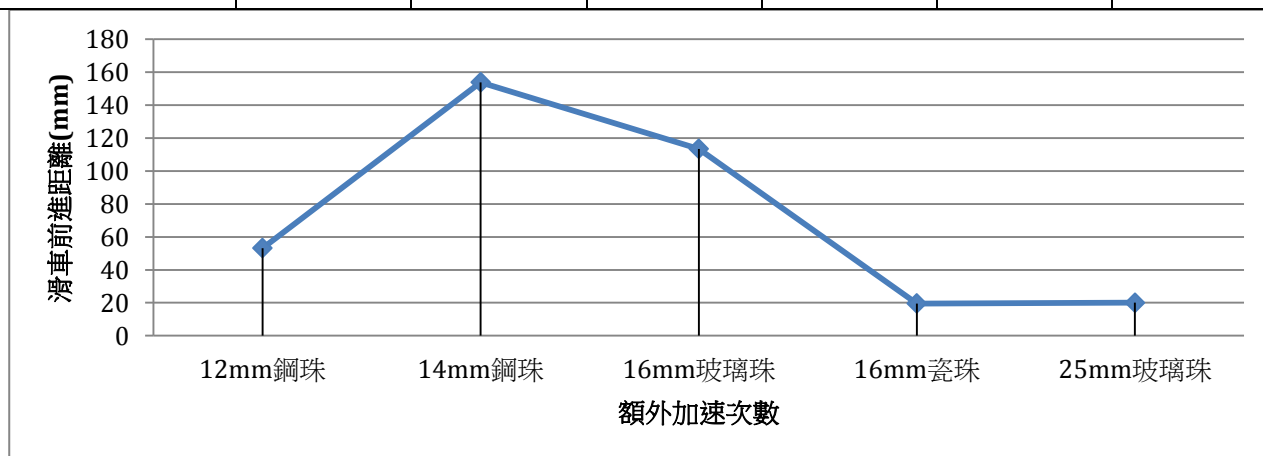
討論：

- (一) 經過更多次的加速，每次撞擊時鋼球的速度皆比前一次的撞擊來得大，所造成的威力也不斷的往上累加，末端鋼珠因此產生了更大的射出速度。

五、 實驗五、不同球體撞擊後對磁射砲產生的力道差異。

表五 使用不同球體撞擊後，滑車接受鋼珠撞擊後的前進距離

距離(mm) 項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
12mm 鋼珠	66	30	47	52	71	53.2
14mm 鋼珠	216	132	225	92	104	153.8
16mm 玻璃珠	140	130	122	97	78	113.4
16mm 瓷珠	24	28	25	7	14	19.6
25mm 玻璃珠	19	20	20	19	22	20



研究發現：

- (一) 當我們使用直徑 14mm 的鋼珠來撞擊時，可以使末端直徑 9mm 的鋼珠撞擊滑車前進最遠的距離。
- (二) 使用直徑 14mm 的鋼珠來撞擊的結果較實驗皆使用 9mm 鋼珠時得到的結果來得好。
- (三) 無磁性的三種球體中，直徑 16mm 的玻璃珠撞擊後可以得到較佳的效果。

討論：

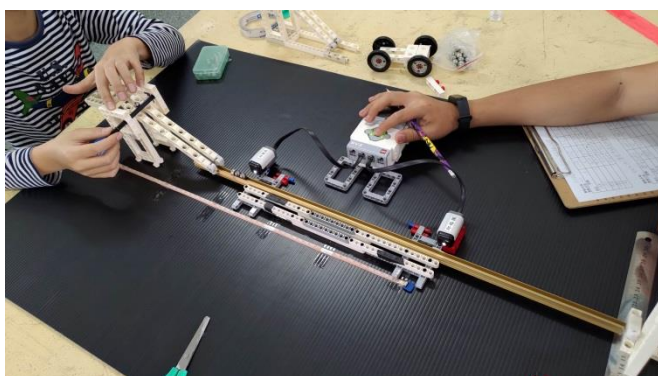
- (一) 使用規格較大的鋼珠撞擊使較小的鋼珠被射出，由於兩種鋼珠的質量不同，所以規格較大的鋼珠在撞擊後相對於小鋼珠而言會產生較大的動能，而使得末端的鋼珠射出的速度比使用相同規格的鋼珠撞擊時來得快，碰撞滑車後便產生較佳的效果。
- (二) 由於鋼珠能被磁鐵吸引，能在撞擊前因為磁力的吸引力而產生加速的作用；瓷珠與玻璃珠則無法被吸引，則在撞擊時並沒有獲得額外的加速，單純以滾落時的速度作撞擊。

(三) 我們發現直徑 25mm 的玻璃珠雖然擁有最大的質量，但在撞擊時由於體積較大，撞擊點並不在重心移動方向上，而是在球體較下方的位置，我們推測也因此讓撞擊時的能量傳遞有很大一部分的損失，造成有較差的結果。

六、 實驗六至實驗十結果分析

本次研究希望透過自製 EV3 測速裝置與影片剪輯軟體剪接分析兩種方式來獲得磁射砲所射出的鋼珠速度，但在過程中兩種方法皆遭遇了問題，而導致無法透過兩項方式確實獲得末端鋼珠射出的速度，以下為我們所遭遇到的問題：

(一) 自製樂高 EV3 測速裝置所遇困難：



使用自製的樂高 EV3 測速器時我們發現有以下幾個問題：

(1) 感測器無法確實感應鋼珠通過：

在實驗的過程中，我們多次發現感測器無法正確的偵測到鋼珠通過感測區，造成機器無法啟動計時器，以至於無法測得整段過程鋼珠所通過的時間，此問題在過程中有座調整並獲得一定程度的改善。

(2) 訊號傳遞與分析下指令速度無法處理鋼珠通過感測器的速度：

我們發現 EV3 在處理訊息時會有一段反應時間，而這段反應時間無法應付磁射砲的鋼珠射出的速度，以至於在多次實驗中皆無法獲得我們所預期獲得的數據。

有鑑於上述兩項問題，我們無法使用自製 EV3 測速器來獲得鋼珠速度，待我們在未來改善這些技術層面的問題後，作為我們在此實驗的延伸探討問題。

(二) 影片剪輯分析法所遇困難：

在剪輯過程中我們發現，雖然在派攝影片時使用了 60 張/秒的攝影設備，但鋼珠的速度從慢動作切割後依然超乎我們想像的快速。很多時候切割後的照片無法明確的抓到鋼珠通過終點時的時刻，造成在分析時產生了較大的誤差值，所以我們認

為數據的嚴謹度必須再加強，故無法獲得我們在實驗涉及前預期的結果，測量鋼珠射出的速度，我們決定會將它列在往後進一步探討的方向。

陸、 結論

- 一、在末端放置不同數量鋼珠的實驗中，我們發現末端擺放 3 顆鋼珠時可以讓滑車在碰撞後前進較遠的距離，我們推測擺放 3 顆鋼珠時最末端鋼珠較能克服強力磁鐵的吸引力，在能量傳遞上也較少有能量散失，才能有較好的效果。
- 二、末端只有一個鋼珠時，末端鋼珠無法突破強力磁鐵的吸引力，而導致鋼珠停留在原地無法射出。
- 三、在不同規格鋼珠的實驗中發現，直徑規格 10mm 的鋼珠能得到較佳的實驗效果。
- 四、直徑規格較大的鋼珠在落下軌道時容易產生彈跳的現象，可能因此造成鋼珠在碰撞磁鐵時並非完全沿著直線運動方向撞擊，進而導致規格較大的鋼珠所得到的實驗結果較不穩定。
- 五、在不同數目的磁鐵相堆疊的實驗中，我們發現堆疊 4 片直徑 10mm、厚度 2mm 的強力磁鐵時，能在撞擊後使滑車前進較遠的距離。我們認為在此時可以使鋼珠獲得較強的吸引力，對於磁鐵厚度而言，在能量傳遞上也能得到較少的能量散失，使能量能有效傳導至最末端鋼珠而使其射出。
- 六、其他磁鐵的堆疊方式對實驗結果較無明顯的差異。
- 七、增加加速裝置可以不斷提升每次鋼珠撞擊時的速度，而獲得更快的射出速度。
- 八、用不同的材質的球體來碰撞時，我們發現由於材質能被磁鐵吸引而加速，並且本身擁有較大的質量，使用直徑規格 14mm 的鋼珠來撞擊可以使末端 9mm 的鋼珠射出後撞擊滑車前進最遠的距離，兩者質量相差愈大，末端鋼珠射出時的威力愈強。
- 九、由於磁射砲所射出的鋼珠具有較高的前進速度，本研究自製的 EV3 測速器及影片剪輯分析法較難取得準確的鋼珠射出速度，待未來可用不同的方式獲得高珠射出的速度資訊。

柒、 未來研究方向：

本次實驗透過動能轉換來找出影響磁射砲威力的各項變因，然而射出鋼珠的速度並無法在本實驗中獲得，實屬可惜。希望未來能運用其他方式或以光柵測速器來作為研究的工具，對鋼珠射出的速度來做進一步的了解。

柒、參考資料

- 一、國小自然與生活科技(康軒版) 三上第二單元 神奇磁力
- 二、國小自然與生活科技(康軒版) 五上第四單元 力與運動
- 三、國小自然與生活科技(南一版) 六上第四單元 電磁作用
- 四、國立台中教育大學 科學遊戲實驗室。磁力砲彈。
<http://scigame.ntcu.edu.tw/electric/electric-032.html>
- 五、國立中央大學 科學教育中心。高斯來福槍(Gaussian Rifle/ Gaussian Canon)
<http://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/198-123>
- 六、楊詠瑄、曹博鈞、陳炯宏、陳冠岳、蔡沅璟(2010)。急速小鋼珠-強磁加速器。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會 國小組 物理科。