

物理科

國小組

磁力槍你能不能強一點？

關鍵詞：磁力槍、強力磁鐵、牛頓擺

摘要

近年來「DIY 裝潢」崛起，越來越多人自己動手組裝、創造簡單的家具，釹鐵硼磁鐵（即強力磁鐵，以下皆以強力磁鐵稱之）的應用性也隨之增高。將強力磁鐵和小鋼珠做結合，即可做出簡單又有趣的「磁力槍」，本研究即透過強力磁鐵和小鋼珠的組合，藉由改變強力磁鐵的數量、小鋼珠的數量、每組強力磁鐵間的組距、以及強力磁鐵的規格，觀察以上的操縱變因是否會影響「小鋼珠的飛行速度」。

壹、研究動機：

某一次和家人去五金行買東西時，看到貨架的邊邊吸了非常多不同形狀的磁鐵，而且非常難拿取，好不容易拿起來，一放手又被吸回貨架上了。在店員的介紹之下，才知道這是最近很夯的「強力磁鐵」，磁力比一般的磁鐵還要強上數倍。回家後本著好奇心上網搜尋，想看看強力磁鐵在生活中的應用，無意中看到了「磁力槍」的實驗，覺得很有趣而且也不困難，於是就和老師、同學們一起分享。實際操作後發現小鋼珠射出的速度比想像中要慢很多，威力也不強，因此想嘗試「如何增加最終擊發後的小鋼珠的飛行速度」，而有了以下的實驗研究。

貳、研究目的：

- 一、藉由強力磁鐵和小鋼珠的組合，探討何種組裝方式可以使小鋼珠獲得較快的飛行速度。
- 二、利用強力磁鐵數量的改變，探討小鋼珠的飛行速度之變化。
- 三、利用小鋼珠數量的改變，探討小鋼珠的飛行速度之變化。
- 四、改變每組強力磁鐵間的組距，探討小鋼珠的飛行速度之變化。
- 五、利用不同規格的強力磁鐵，探討小鋼珠的飛行速度之變化。

參、研究設備及器材：

		
<p>釹鐵硼磁鐵（強力磁鐵） 直徑 20 mm x 厚度 10 mm 共 10 個</p>	<p>釹鐵硼磁鐵（強力磁鐵） 直徑 15 mm x 厚度 10 mm 共 10 個</p>	<p>釹鐵硼磁鐵（強力磁鐵） 長 40 mm x 寬 25 mm x 厚度 10 mm 共 3 個</p>
		
<p>直徑 15 mm 小鋼珠 共 25 顆</p>	<p>電線壓條（作為槍身軌道） 共 3 條</p>	<p>捲尺（測量距離用）</p>

肆、研究過程與方法：

由於本研究需要數組實驗結果來相互對照、比較，因此先設立一組「對照組」，其他的組別則是由「對照組」的變項進行改變的「實驗組」。

「對照組」的規格為：直徑 20 mm x 厚度 10 mm 的強力磁鐵三個、直徑 15 mm 的小鋼珠七顆、電線壓條一條。



圖 1：「對照組」磁力槍實驗裝置

每一組磁鐵皆為一顆強力磁鐵加上兩顆小鋼珠，每組的組距為 12 cm，最前面的一組距離槍口 6.7 cm。



圖 2：一組磁鐵：一個強力磁鐵 + 兩顆小鋼珠

- 一、先將一顆強力磁鐵置於軌道中，並固定其位置。
- 二、在強力磁鐵的前方放置兩顆小鋼珠，並檢查第一顆鋼珠與槍口的距離。
- 三、取出適當的間隔距離，再放入第二顆強力磁鐵和兩顆小鋼珠。
- 四、再以相同的間隔距離，放入第三顆強力磁鐵和兩顆小鋼珠。
- 五、整組槍身置於高處的平面（本實驗置於餐車上方之平面），槍口切齊平面邊緣。
- 六、將一顆小鋼珠置於第三組強力磁鐵後，取相同組距，並使其被強力磁鐵吸附，經過撞擊加速後，使最前端的小鋼珠射出。
- 七、以肉眼觀測小鋼珠的落地位置，並以捲尺測量與槍口平行之地面與小鋼珠落地位置之距離，以此做為小鋼珠的前進距離並記錄之。
- 八、將射擊後的三組磁鐵恢復原貌，並重複過程六、七共五次。
- 九、研究一：強力磁鐵和槍身的組裝方式，是否影響飛行速度。
- 十、研究二：將強力磁鐵的數量由三顆依序增加至五顆，並重複過程一～八。
- 十一、研究三：將小鋼珠數量由兩顆依序增加至七顆，並重複過程五～八。
- 十二、研究四：將強力磁鐵的組距以三公分為單位進行調整，並重複過程一～八。
- 十三、研究五：將強力磁鐵的規格分別更換為直徑 15 mm x 厚度 10 mm 之圓形磁鐵及長 40 mm x 寬 25 mm x 厚度 10 mm 之長方形磁鐵，並重複過程一～八。
- 十四、以碼表測量鋼珠由槍口射出至落地的時間為 0.45 秒，並結合過程七之數據，計算出各研究中小鋼珠的飛行速度。

伍、研究結果：

一、強力磁鐵和槍身的組裝方式，是否影響小鋼珠的飛行速度：

此實驗的目的是要測試「槍身的組裝方式對於小鋼珠的飛行速度之影響」，實驗裝置如圖 3 及圖 4 所示。

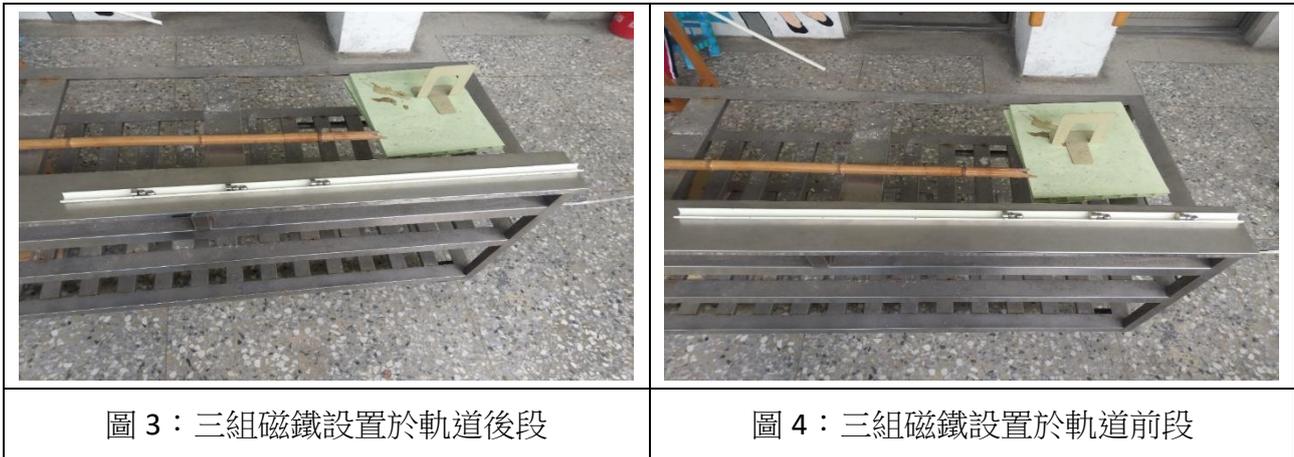


圖 3：三組磁鐵設置於軌道後段

圖 4：三組磁鐵設置於軌道前段

表 1：操縱變因：磁鐵放置於軌道後段

控制變因：三組強力磁鐵 20 mm X 10 mm，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2，組距 12 cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度	106.7	117.8	113.3	126.7	166.7	126.2

單位：秒速 (cm/s)

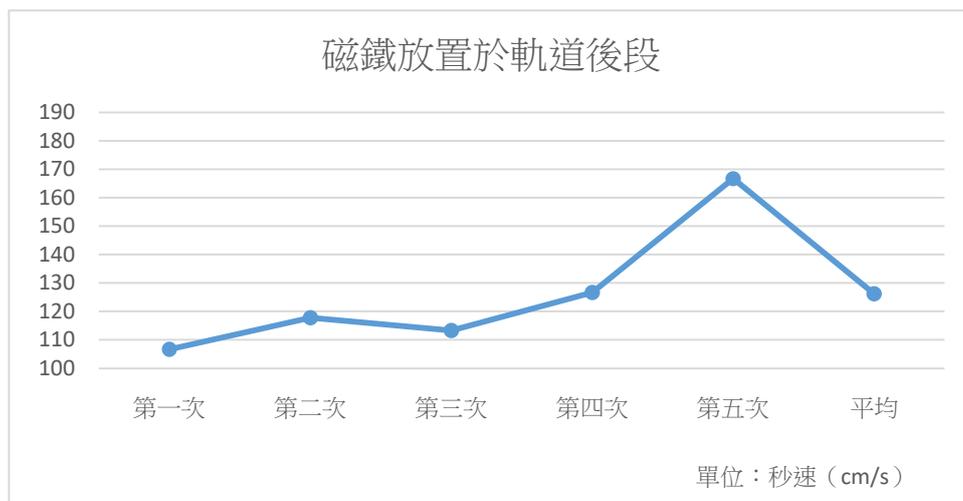


圖 5：磁鐵放置於軌道後段之小鋼珠飛行速度折線圖

由表 1 可以得知，將三組磁鐵設置於軌道後段，記錄五次射擊的結果，小鋼珠的平均飛行速度為每秒 126.22 公分。

表 2：操縱變因：磁鐵放置於軌道前段

控制變因：三組強力磁鐵 20 mm X 10 mm，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2，組距 12 cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度	177.8	182.2	182.2	173.3	175.6	178.2

單位：秒速 (cm/s)

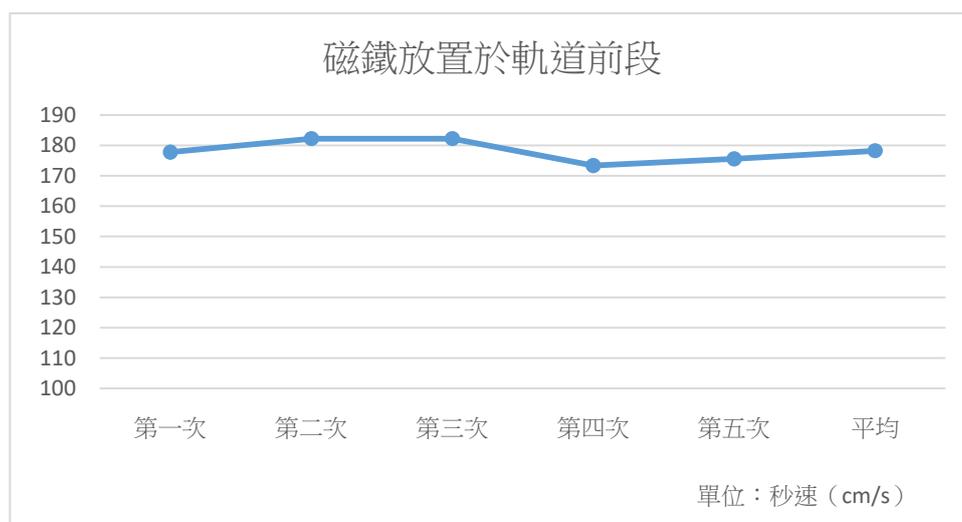


圖 6：磁鐵放置於軌道前段之小鋼珠飛行速度折線圖

由表 2 可以得知，將三組磁鐵設置於軌道前段，記錄五次射擊的結果，小鋼珠的平均飛行速度為每秒 178.22 公分。

將表 1 和表 2 的實驗結果放在一起看，可以得知「磁鐵放置於軌道後段」的飛行速度明顯低於「磁鐵放置於軌道前段」，速度大幅減少約 30%。考量到「磁鐵放置於軌道後段」時，鋼珠發射後仍需在軌道滑行一段 23.4 公分的距離，過程中會受到軌道的摩擦力之影響，減低小鋼珠擁有的動能，進而大幅影響到擊發後鋼珠飛行的速度。因此我們選擇「磁鐵放置於軌道前段」利用作為本研究的對照組，以鋼珠射出後的自由落體來計算飛行速度。

由上述可知，23.4 公分的軌道所造成的摩擦力對於鋼珠的飛行速度就會有如此巨大的影響(使擺在前段的飛行速度約下降 30%)，因此這也是為什麼我們選擇利用鋼珠射出後結合自由落體運動，來計算最終擊發的鋼珠飛行速度，因為空氣阻力遠小於軌道的摩擦力，這樣所測得的鋼珠飛行速度誤差較小。

二、增加強力磁鐵的數量，是否影響小鋼珠的飛行速度：

此實驗的目的是要測試「強力磁鐵的數量對於小鋼珠的飛行速度之影響」，故操縱變因為「強力磁鐵的組數」。實驗裝置如圖 7 及圖 8 所示。

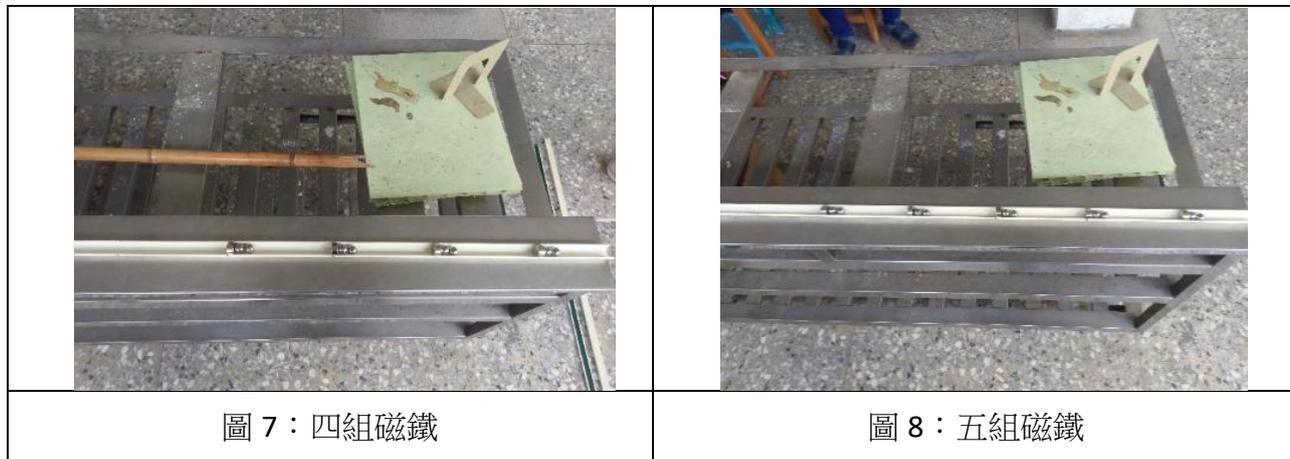


表 3：操縱變因：強力磁鐵的組數

控制變因：強力磁鐵 20 mm X 10 mm，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2，組距 12 cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度 (三組)	177.8	182.2	182.2	173.3	175.6	178.2
飛行速度 (四組)	186.7	197.8	188.9	184.4	193.3	190.2
飛行速度 (五組)	195.6	188.9	200.0	200.0	208.9	198.7

單位：秒速 (cm/s)

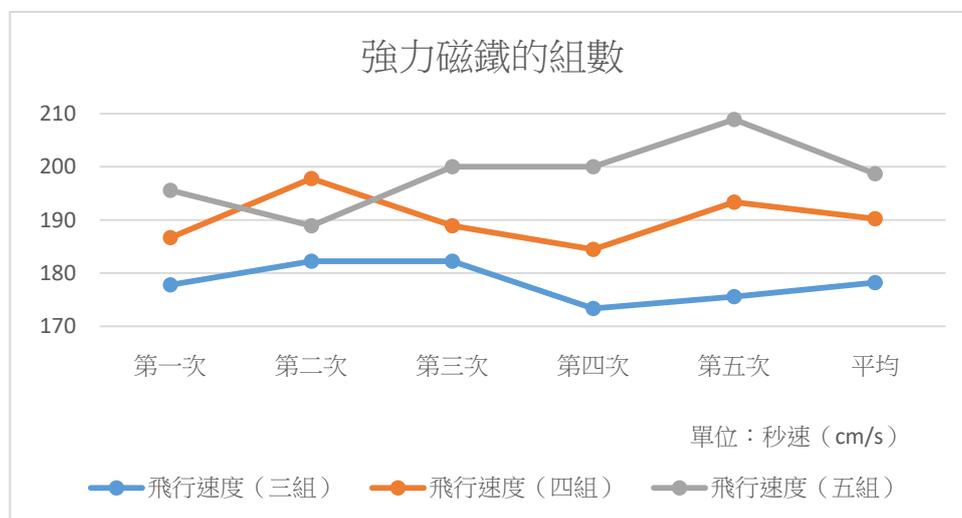


圖 9：改變強力磁鐵組數之小鋼珠飛行速度折線圖

從表 3 可以得知，強力磁鐵的組數增加到四組時，小鋼珠的飛行速度比對照組(三組強力磁鐵)上升約 7%；當強力磁鐵的組數增加到五組時，小鋼珠的飛行速度比對照組(三組強力磁鐵)上升約 12%。由實驗結果可知「每增加一組強力磁鐵，最終擊發的小鋼珠的飛行速約可以提高 6.3%」。本實驗原來預定要做到六組強力磁鐵，但六組磁鐵放置完成後，軌道的剩餘長度不足發射所需的 12 cm，故本實驗只做到五組強力磁鐵。

三、增加小鋼珠的數量，是否影響小鋼珠的飛行速度：

此實驗的目的是要測試「小鋼珠的數量對於小鋼珠的飛行速度之影響」，故操縱變因為「小鋼珠的數量」。實驗裝置如圖 10 至圖 14 所示。

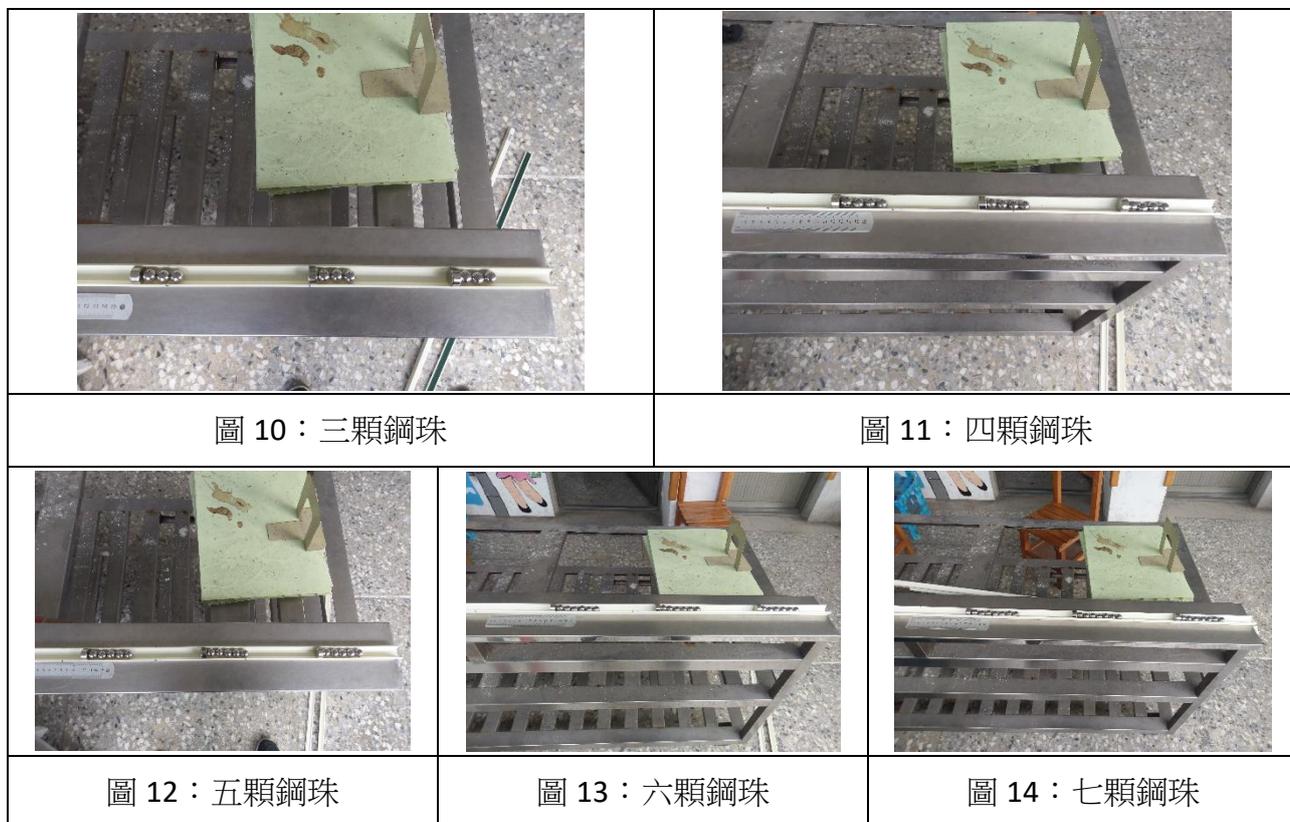


表 4：操縱變因：小鋼珠的數量

控制變因：三組強力磁鐵 20 mm X 10 mm，每組磁鐵 x 1，組距 12 cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度 (兩顆)	177.8	182.2	182.2	173.3	175.6	178.2
飛行速度 (三顆)	228.9	220.0	220.0	224.4	228.9	224.4
飛行速度 (四顆)	217.8	226.7	224.4	220.0	228.9	223.6
飛行速度 (五顆)	217.8	226.7	228.9	240.0	228.9	228.4
飛行速度 (六顆)	231.1	224.4	228.9	237.8	237.8	232.0
飛行速度 (七顆)	226.7	228.9	228.9	235.6	228.9	230.7

單位：秒速 (cm/s)

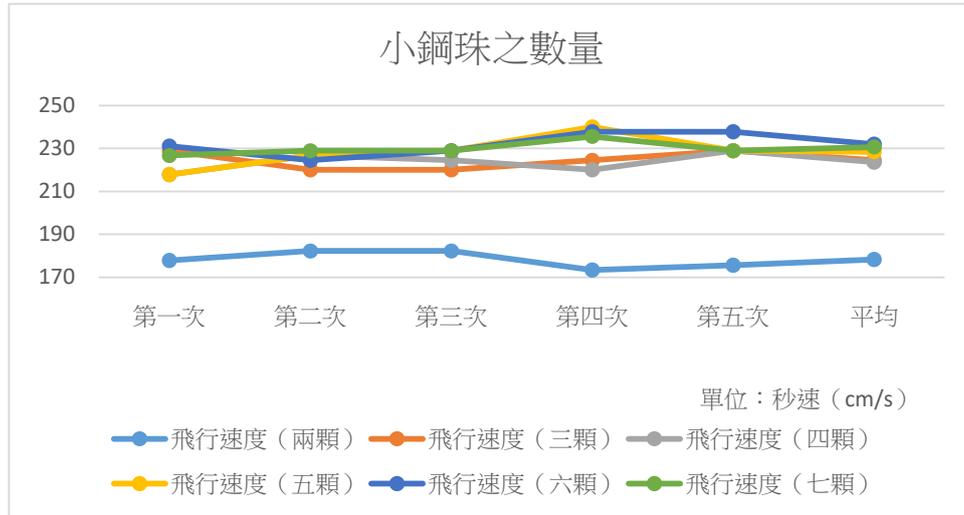


圖 15：改變小鋼珠數量之小鋼珠飛行速度折線圖

從表 4 可以看出，當小鋼珠的數量增加至三顆時，相較於小鋼珠的飛行速度比對照組高了約 26%；當小鋼珠的數量增加至四顆時，小鋼珠的飛行速度幾乎持平；當小鋼珠的數量增加至五顆時，相較於四顆小鋼珠的飛行速度則提高了約 2%；當小鋼珠的數量增加至六顆時，相較於五顆小鋼珠的飛行速度提高了約 1.6%；當小鋼珠的數量增加至七顆時，小鋼珠的飛行速度幾乎也是持平。

在實驗過程中發現，強力磁鐵能夠有效吸附的極限為四顆小鋼珠，當放置第五顆時依然會吸附，但吸附力大減，在發射時可能會一次射出兩顆鋼珠。至於本實驗做到七顆小鋼珠之原因，是因為放置八顆小鋼珠時，軌道的剩餘空間不足發射所需的 12 cm。

由上述可知，當小鋼珠的數量增加時，小鋼珠的飛行速度也隨之上升，但小鋼珠的數量超出強力磁鐵能有效吸附的數量時，雖然飛行速度依舊是上升的，但其中也要考量到磁力減弱的緣故，因此判斷小鋼珠的數量約在四至五顆時為強力磁鐵能有效吸附的最大值。

四、改變各組磁鐵間的組距，是否影響小鋼珠的飛行速度：

此實驗的目的是要測試「各組磁鐵間的組距對於小鋼珠的飛行速度之影響」，故操縱變因為「各組磁鐵間的組距」。實驗裝置如圖 16 至圖 20 所示。

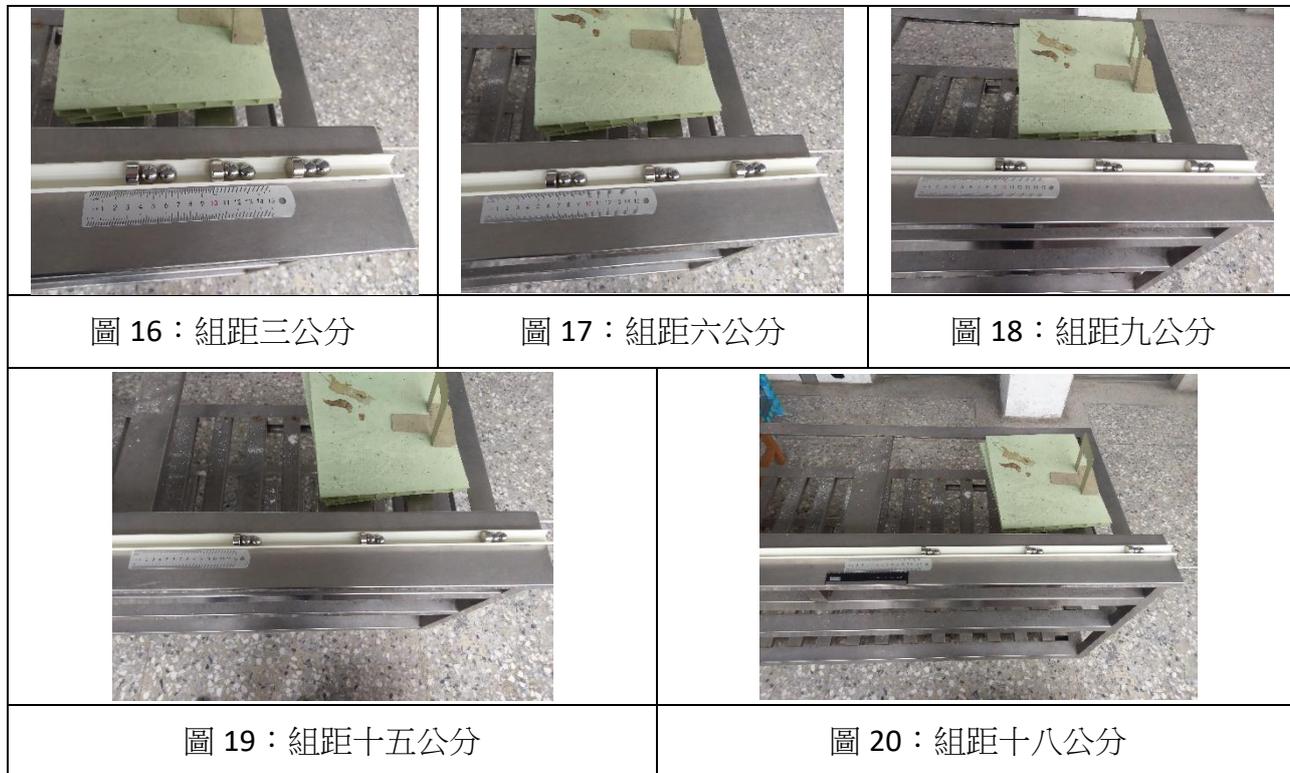


表 5：操縱變因：各組磁鐵的組距

控制變因：三組強力磁鐵 20 mm X 10 mm，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度（三公分）	213.3	215.6	213.3	215.6	213.3	214.2
飛行速度（六公分）	182.2	182.2	197.8	202.2	202.2	193.3
飛行速度（九公分）	186.7	193.3	186.7	191.1	184.4	188.4
飛行速度（十二公分）	177.8	182.2	182.2	173.3	175.6	178.2
飛行速度（十五公分）	182.2	182.2	175.6	180.0	182.2	180.4
飛行速度（十八公分）	175.6	184.4	188.9	182.2	188.9	184.0

單位：秒速（cm/s）

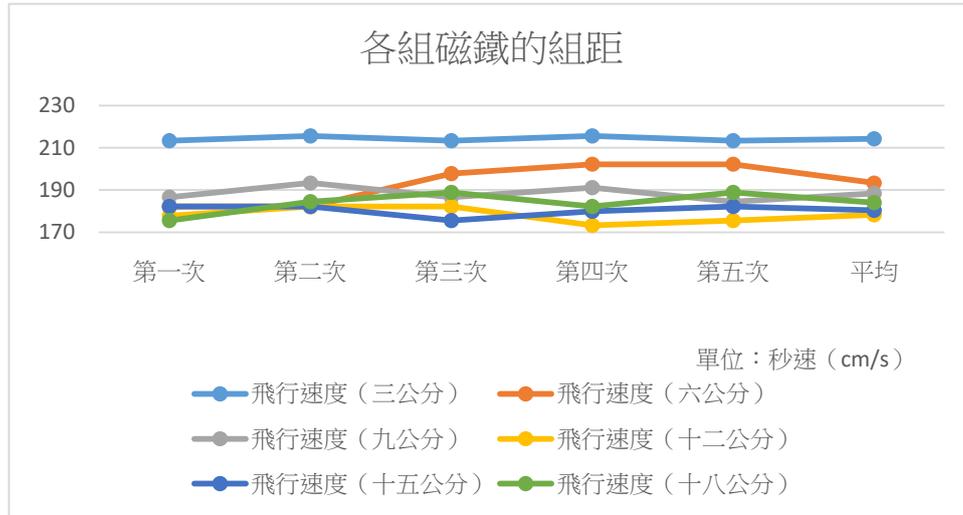


圖 21：改變各組磁鐵組距之小鋼珠飛行速度折線圖

從表 5 可以看出，最終擊發後的鋼珠速度，會隨著磁鐵間的組距變小時，而有所提升。可以觀察到當組距由 12 公分縮小至 3 公分時，最終擊發後的鋼珠速度提升了約 20%。在這邊我們判斷組距對於小鋼珠的速度影響的來源為軌道間的摩擦力，因此若是組距越長，鋼珠滑行的距離越多，其由摩擦力所造成的動能所損失也越多。因此由實驗結果，我們推論出「磁鐵間的組距越小，小鋼珠的飛行速度越快」。

當磁鐵間的組距增加至十五公分時，小鋼珠的飛行速度比對照組提升約 2cm/s；當磁鐵間的組距增加至十八公分時，小鋼珠的飛行速度又提升了約 4cm/s。由以上數據可以得知，當磁鐵間的組距大於對照組時，小鋼珠的飛行速度依然會提升，總共提升了約 6cm/s。但當磁鐵間的組距大於對照組時，其組距不足以讓發射的小鋼珠自行被最後一組磁鐵吸附，必須由人為輕輕推動鋼珠，因此會混入磁力之外的人為力量，導致數據失真。

五、改變磁鐵的規格，是否影響小鋼珠的飛行速度：

此實驗的目的是要測試「不同規格的磁鐵對於小鋼珠的飛行速度之影響」，故操縱變因為「各式規格的強力磁鐵」。實驗裝置如圖 22、圖 24 及圖 26 所示。



圖 22：裝置改用 15mm x 10mm 磁鐵

表 6：操縱變因：15mmX10mm 規格之強力磁鐵

控制變因：三組強力磁鐵，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2，組距 12cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度	311.1	311.1	311.1	300.0	293.3	305.3

單位：秒速 (cm/s)

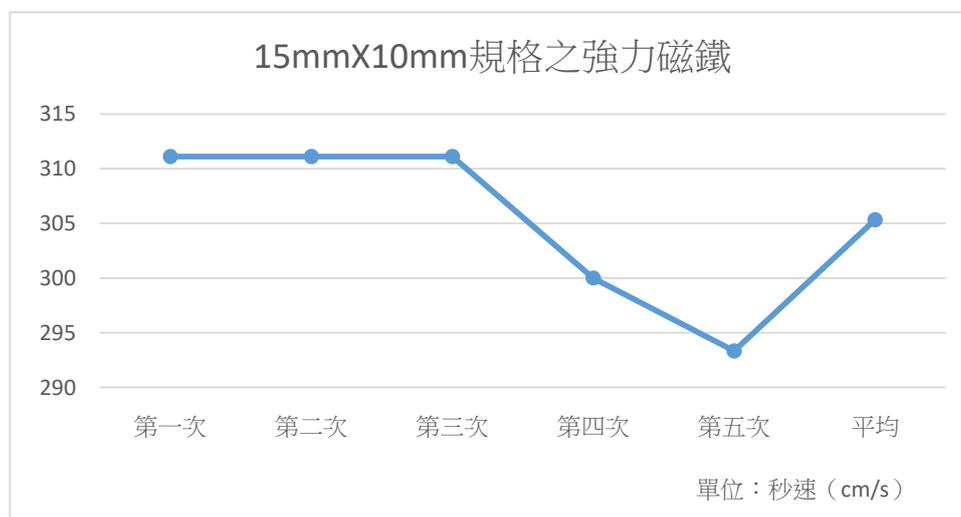


圖 23：15mmX10mm 規格之強力磁鐵之小鋼珠飛行速度折線圖

從表 6 可以得知，當強力磁鐵的規格由「直徑 20mm x 厚度 10mm」的圓形磁鐵更換為「直徑 15mm x 厚度 10mm」時，小鋼珠的平均飛行速度比對照組提高了約 71%。由此數據可以推論，「當圓形強力磁鐵的直徑縮小時，小鋼珠的飛行速度會提高」。



圖 24：裝置改用 40 mm x 25 mm x 10 mm 磁鐵（擺橫）

表 7：操縱變因：40 mm X 25 mm X 10 mm 規格之強力磁鐵（擺橫）

控制變因：三組強力磁鐵，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2，組距 12cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度	22.2	26.7	33.3	33.3	33.3	29.8

單位：秒速 (cm/s)

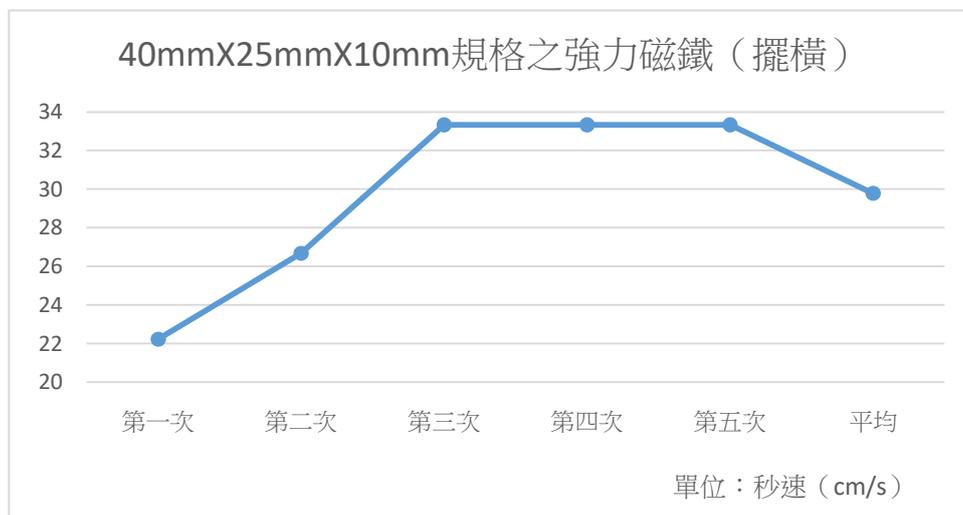


圖 25：40 mm X 25 mm X 10 mm 規格之強力磁鐵（擺橫）之小鋼珠飛行速度折線圖

從表 7 可以得知，當強力磁鐵的規格由「直徑 20 mm x 厚度 10 mm」的圓形磁鐵更換為「長 40 mm x 寬 25 mm x 厚度 10 mm」的長方體磁鐵時，小鋼珠的平均飛行速度比對照組降低了約 83%。由此數據可以推論，「當改用長方體磁鐵時，小鋼珠的飛行速度會降低」。



圖 26：裝置改用 40mm x 25mm x 10mm 磁鐵（擺直）

表 8：操縱變因：40 mm X 25 mmX 10 mm 規格之強力磁鐵（擺直）

控制變因：三組強力磁鐵，每組磁鐵 x 1、小鋼珠 x 2，組距 12 cm						
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行速度	66.7	66.7	71.1	66.7	62.2	66.7

飛行距離單位：公分（cm）、飛行速度單位：秒速（cm/s）

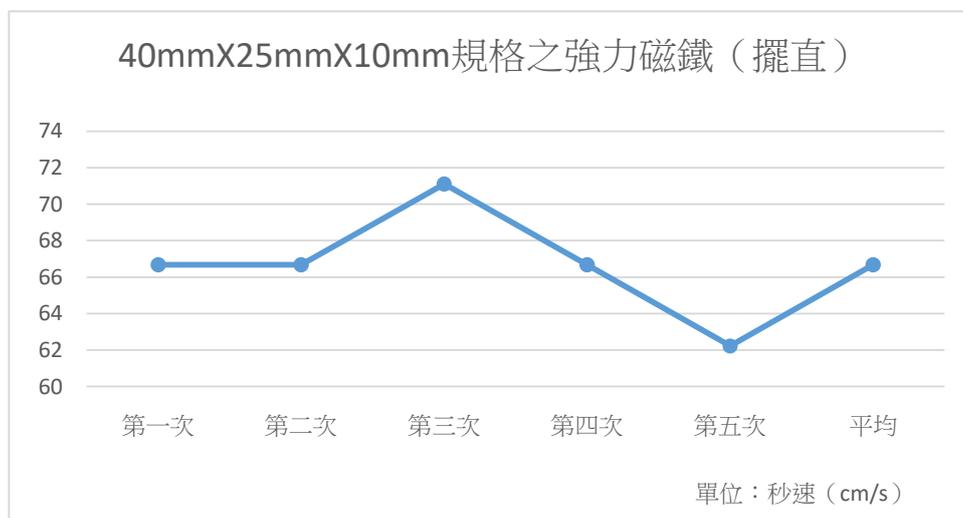


圖 27：40 mm X 25 mm X 10 mm 規格之強力磁鐵（擺直）之小鋼珠飛行速度折線圖

從表 8 可以得知，當強力磁鐵的規格由「直徑 20 mm x 厚度 10 mm」的圓形磁鐵更換為「長 40 mm x 寬 25 mm x 厚度 10 mm」的長方體磁鐵，並將磁鐵直立起來時，小鋼珠的平均飛行速度比對照組降低了約 112 cm/s，但比長方形磁鐵擺橫時，小鋼珠的平均飛行速度提高了約 37 cm/s。由上述數據可以推論，「當改用長方體磁鐵時，小鋼珠的飛行速度會降低；但將長方體磁鐵直立起來時，小鋼珠的飛行速度又比長方體磁鐵擺橫時要來得高」。

陸、討論：

- 一、本研究所使用的原理，是一種利用「牛頓擺」的力學能守恆原理以及磁力吸附。從軌道後端輕輕推一顆小鋼珠進來，這一顆小鋼珠會被第一顆強力磁鐵吸引並且加速。當第一顆小鋼珠撞擊到第一顆強力磁鐵上面時，它會停止下來，把它的能量轉移給第二顆小鋼珠；第二顆小鋼珠得到能量後發射出去，然後再被第二顆強力磁鐵吸引、加速，當第二顆小鋼珠撞擊到第二顆強力磁鐵停止下來後，它又把能量再轉移給第三顆小鋼珠。經過了數次加速過程後，最後射出去那顆小鋼珠，會得到很高的能量，因此以很高的速度射擊出去。
- 二、在實驗過程中，發現小鋼珠射出的威力和距離皆不如想像中的有力，因此我們就開始構想，用什麼方式可以增加發射出去的威力？本研究所選擇的操作變因就在我們認為「這樣改變或許會比較快」的想法下，共實行了五項：**1.強力磁鐵的組裝方式、2.強力磁鐵的數量、3.小鋼珠的數量、4.強力磁鐵間的組距、5.強力磁鐵的規格。**
- 三、本研究用來判斷「飛行距離」的落地位置，由於沒有更精密的設備，因此僅是由肉眼瞬間判斷落點，再以固定在地上的捲尺測量距離，故換算成飛行速度時可能會產生誤差。
- 四、實驗過程中，當作為砲彈的鋼珠離開槍身，在空中開始下墜時，根據牛頓第二定律，皆無視空氣阻力。故我們只需要先測量出鋼珠離開槍身至落地所需的時間，再測量出鋼珠落地的距離，就能得出每一次射擊的飛行距離。
- 五、實驗時須注意磁力槍組裝完成後，槍口是否切齊高台的邊緣？各組強力磁鐵間的數量、小鋼珠的數量、組距和規格是否都正確？在實驗的一開始，我們就碰上了因為沒有確實測量磁鐵間的組距，而造成實驗數據全部要重測的慘劇。因此隨時備著一把尺至於軌道旁邊，有助於提醒自己要確實測量組距，也能提高實驗數據的精確度。
- 六、在進行「不同規格的強力磁鐵，是否影響飛行距離」的實驗中發現，規格和作為砲彈的小鋼珠越接近的強力磁鐵，飛行距離越長。我們猜測這可能是因為強力磁鐵和小鋼珠的規格越接近，當兩者撞擊時的力道能夠完整的再傳遞給下一顆鋼珠；當強力磁鐵的規格大於小鋼珠時，可能會因為撞擊時的力道分散至整顆磁鐵，而導致實際傳遞給下一顆鋼珠的力量減弱。

柒、結論：

一、改變強力磁鐵的組裝方式，探討是否影響小鋼珠的飛行速度：

當小鋼珠經過撞擊強力磁鐵，讓作為砲彈的小鋼珠發射出去時，需要考慮「小鋼珠與軌道間的摩擦力」。

(一) 當強力磁鐵置於軌道後方時，小鋼珠發射出去需要在軌道上滑行較長的距離，在過程中就會因為摩擦力的因素，而造成能量的散失。

(二) 當強力磁鐵置於軌道前方時，由於小鋼珠在軌道上滑行的距離很短，能量的散失就會降低許多，因此會得到比較長的飛行距離及比較快速的飛行速度。

二、改變強力磁鐵的數量，探討是否影響小鋼珠的飛行速度：

因為本實驗的核心裝置就是「強力磁鐵」，加上前文所述，當小鋼珠和強力磁鐵經過反覆撞擊後，會累積越來越高的能量，因此我們認為只要增加強力磁鐵的組數，就能讓發射威力變得更強。實驗結果也證實了，增加強力磁鐵的組數，確實能夠增加所獲得的能量，讓作為砲彈的小鋼珠獲得更長的飛行距離及更快速的飛行速度。

三、改變小鋼珠的數量，探討是否影響小鋼珠的飛行速度：

由於本研究是基於「牛頓擺」的定理，所以我們認為只要增加小鋼珠的數量，或許能量的傳遞會變得更多、更大。但是如果增加的小鋼珠數量太多，飛出去的小鋼珠的飛行速度會減弱，因為強力磁鐵的磁力不足，無法吸住小鋼珠，於是就會有兩顆以上的小鋼珠飛出去，影響小鋼珠的飛行速度，再加上飛行時所經過的軌道有摩擦力，也會阻礙小鋼珠的飛行，因此速度會減慢。在強力磁鐵的前面之所以要加上兩顆以上的小鋼珠，是因為如果只有一顆小鋼珠的話，小鋼珠會無法發射出去，後方的強力磁鐵和前方的強力磁鐵都會吸引小鋼珠，但是如果在後方的強力磁鐵前面添加一顆小鋼珠就可以減少後方強力磁鐵的吸引力，因此當第一顆小鋼珠發射出去時，撞擊到強力磁鐵後，磁力會被前方的小鋼珠吸引，磁鐵前方的第一顆小鋼珠的力量就會傳給第二顆小鋼珠，以此類推，小鋼珠就可以順利發射出去。根據實驗結果，強力磁鐵能夠吸附的小鋼珠最多約為四到五顆，若超過的話就會一次飛出兩顆小鋼珠。而實驗結果部分和我們的想法一致：增加小鋼珠的數量，也增加了飛行速度；部分結果則和我們的想法不一致，當小鋼珠無法被有效吸附時，飛行速度應該會下降，但根據我們的實驗，飛行速度卻依然是上升的。

四、改變強力磁鐵的組距，探討是否影響小鋼珠的飛行速度：

本研究「實驗組」的間距預設為十二公分，威力只能說差強人意。在反覆實驗過程中，我們觀測出「小鋼珠在軌道滑行時會和軌道產生摩擦力」，因此認為如果把組距縮小的話，小鋼珠和軌道的摩擦力也會隨之減少，發射威力會變得更大；反之，如果將組距加大，小鋼珠在行進的過程中和軌道的摩擦力也會增加，造成能量的散失，所以發射威力會變得更小。

根據實驗結果，當強力磁鐵的組距縮小時，作為砲彈的小鋼珠確實獲得了更快的飛行速度，這和我們的想法一致；當強力磁鐵的組距增加時，卻未如我們期望，小鋼珠依然獲得了更快的飛行速度。關於這點，我們的認知是由於組距增加至十五公分、十八公分時，放入槍身的第一顆小鋼珠已無法自行被第一顆強力磁鐵所吸引，必須由人為輕輕推進，或許正是這個原因，造成小鋼珠的飛行速度不但沒有下降，反而呈現上升。

五、改變強力磁鐵的規格，探討是否影響小鋼珠的飛行速度：

本研究「實驗組」使用的強力磁鐵為直徑 20mm x 厚度 10mm 之圓形強力磁鐵。在參考資料的網站裡有提及，小鋼珠和強力磁鐵的尺寸盡可能要一致，以達到最準確的實驗結果。由於本實驗所使用的小鋼珠為 15mm，所以我們預測當強力磁鐵的規格也改為直徑 15mm x 厚度 10mm 的圓形強力磁鐵時，和小鋼珠的尺寸較為一致，發射的威力就會變得更強。另外，我們也準備了長 40mm x 寬 25mm x 厚 10mm 的方形強力磁鐵，但由於磁鐵的尺寸和小鋼珠差距較大，我們認為它的威力會不如圓形強力磁鐵。

根據實驗結果，兩者皆如我們的猜測，強力磁鐵的規格與小鋼珠越接近，獲得的能量越高，飛行速度也越快；反之，強力磁鐵的規格與小鋼珠差距越大，獲得的能量越小，飛行速度也越慢。

六、未來研究展望：

（一）由於我們沒有精密的測量儀器，只能用肉眼觀測，研究數據可能會失真。

（二）本研究已經證實了部分方式可以增強小鋼珠發射的威力，未來或許可以朝著「射擊標靶」的方式進行實驗。

捌、參考資料：

- 一、NTCU 科學遊戲 Lab：磁力砲彈 <http://scigame.ntcu.edu.tw/electric/electric-032.html>
- 二、推廣板高斯來福槍 https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwij5pb2spDgAhVTc3AKHeAGCQYQFjABegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fphy.tw%2F%25E7%25A7%2591%25E5%25AD%25B8%25E5%25AF%25A6%25E9%25A9%2597%2Fitem-title&usg=AOvVaw0aUduUKxV_7DY-46hL2Czl
- 三、牛頓擺-維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E6%91%86>