

新北市114學年度海山國小獨立研究

作品說明書

科 別：自然科

組 別：國小組

作品名稱：發射吧！鐵球！ --鐵球磁力砲的發射效果之研究

關 鍵 詞：強磁、高斯砲、電磁鐵（最多3個）

摘要

為了設計磁力砲玩具，探索能量轉換最佳化，實驗中改變不同變因。結果顯示，鐵球數量過多能量會損失；下滑距離長，雖提升撞擊速度，太快的初速使轉換變差。

線圈圈數多、線徑粗、粗鐵芯，可提升速度轉換率；比較三種磁鐵，效果依序為強磁 > 磁球 > 線圈。雖線圈並非最好，但有**磁力可調整**的優勢，後續會朝線圈作為核心。

壹、研究動機

一開始，我們在影片中看到美國隊長使用磁力飛盤，覺得非常神奇。後來我們在網路上發現一種叫做「鐵球磁力」的實驗，看到當一顆鐵球撞上被強力磁鐵磁化的鐵球時，最前端的鐵球會突然高速飛出去，讓我們感到非常驚訝，也產生了強烈的好奇心。

我們想知道，為什麼鐵球之間沒有直接接觸磁鐵，卻能把能量傳送出去？這樣的能量是如何傳遞的？鐵球的數量、排列方式，或是磁鐵之間的距離，是不是都會影響鐵球飛出去的速度呢？於是，我們開始查找相關資料，發現這個現象和牛頓擺的能量傳遞原理，以及高斯槍的磁力加速概念有關。

為了更深入了解影響鐵球發射速度的因素，我們決定動手設計實驗，改變鐵球的數量、距離、磁鐵排列方式，觀察能量傳遞的效果。之後，我們也嘗試加入線圈電磁力，希望比較強力磁鐵與電磁力在能量傳送上的差異，找出讓鐵球速度最快的方式，並將研究結果應用在設計新的科學玩具上。

貳、研究目的與問題

一、研究目的

在鐵球磁力砲實驗中，哪些因素會影響鐵球能量的傳遞效率，進而改變最前端鐵球的發射速度？

二、研究問題

(一)、鐵球與磁球配置對能量傳遞的影響

1. 不同鐵球數量是否會影響能量傳遞效率與最前端鐵球的發射速度？
2. 增加鐵球與磁鐵組數，兩組間的距離改變時，能量傳遞效率是否會隨之改變？
3. 鐵球下滑距離的長短影響輸入能量，是否會進而影響發射鐵球的速度？

(二)、磁鐵特性對能量傳遞的影響

4. 不同磁鐵間距是否會改變磁力集中程度，影響鐵球的發射效果？
5. 不同磁極排列方式（同極相對、異極相對）對能量傳遞效率有何影響？

(三)、線圈電磁力的比較研究

6. 線圈圈數的不同是否會影響鐵球的加速效果與發射速度？
7. 線圈線徑的不同是否會影響電磁力大小，進而改變能量傳遞效率？
8. 線圈鐵芯粗細的不同是否會影響鐵球的加速效果與發射速度？

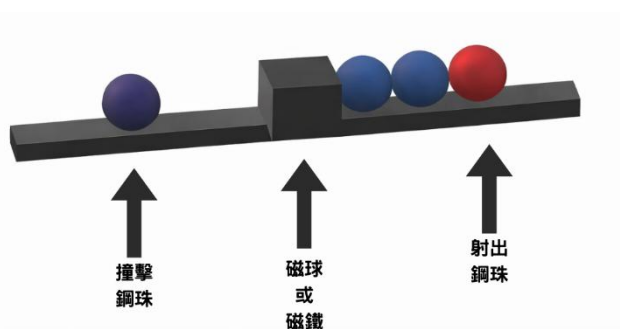
9. 磁球、強磁與線圈電磁力在加速鐵球時，哪一種方式的能量傳遞效果較佳？

三、文獻收集

(1)高斯砲（磁力砲）原理說明：

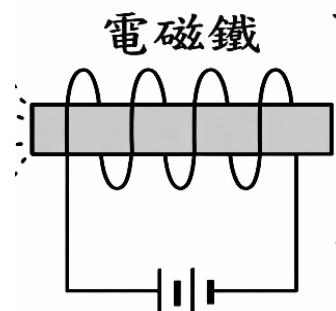
高斯砲是利用磁力吸引與能量轉移所形成的加速裝置。當鐵球位於磁鐵磁力作用範圍內時，會受到磁鐵吸引而逐漸加速，向磁鐵方向運動。進入的鐵球撞擊磁鐵後，動能透過鐵球間的碰撞傳遞，使原本吸附在磁鐵另一端的鐵球獲得能量並高速射出，而進入鐵球則被磁鐵吸住而停止。若將多顆鐵球串聯排列，射出的鐵球會再度受到下一顆鐵球吸引而持續加速，形成連續的能量轉移與速度提升效果。整個過程涉及磁力、動能轉換與力學能傳遞原理，並符合能量守恆概念，但實際運作中仍會因摩擦與熱能造成部分能量損失。

(圖片改編自：<https://sciexplore2022.colife.org.tw/uploadfiles/TMa84ed2166e/TMa84ed2166e.pdf>)



(2)電磁鐵原理說明：

電磁鐵是利用電流的磁效應所形成的磁性裝置，當電流通過纏繞成線圈的導線時，線圈周圍會產生磁場。若在線圈中心放入容易被磁化的鐵棒（如軟鐵），磁場會使鐵棒內部的磁場排列趨於一致，使其暫時具有磁性而成為電磁鐵。當電流持續通過時，電磁鐵能產生吸引鐵製物體的磁力；當電流中斷後，磁場隨之消失，鐵棒內部的磁場逐漸回復無序狀態，磁性也隨之減弱或消失，因此電磁鐵具有可透過通電與斷電加以控制的特性。電磁鐵磁力的大小會受到線圈圈數、電流大小以及鐵芯材料性質等因素影響。



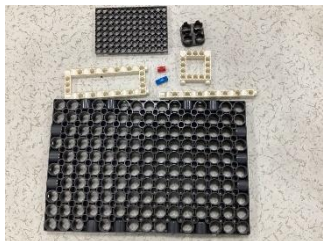
四、歷屆科展作品

屆 數	作品名稱	內容摘要
屏東縣第61屆國中小學科學展覽會	「磁」威顯赫-磁射砲	本研究探討磁射砲中鋼珠與磁鐵配置對射出效果的影響，結果顯示磁鐵後方放置 3 顆鋼珠效果最佳，鋼珠與軌道需匹配，磁鐵數量適中可提升射出威力。
嘉義縣第 53屆國民中小學科學展覽會	軌道上的急速—磁力砲	本研究以磁鐵與鐵球探討磁力砲原理，發現入射球接近磁鐵時會瞬間加速，使射出球高速射出，但過程中並非完全符合動量守恆，仍存在能量損失。
中華民國第 57 屆中小學科學展覽會	電磁砲！真的還假的？	本研究探討電磁炮鐵棒初速與電容數量、電壓、線圈長度與密度之關係。結果顯示初速與電壓及電容數量呈正相關，線圈密度受線徑電流上限限制，可能產生終端速度。

參、實驗器材與設備



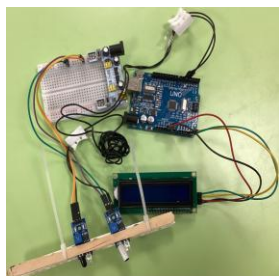
線圈



科學積木



強力磁鐵
(釹鐵硼磁鐵)



紅外線感測器



12mm鐵球



12mm磁球



漆包線線徑0.4mm



漆包線線徑0.21mm



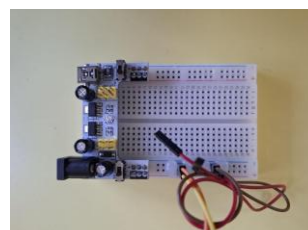
漆包線線徑0.11mm



細螺絲與螺帽、墊片



粗螺絲與螺帽、墊片



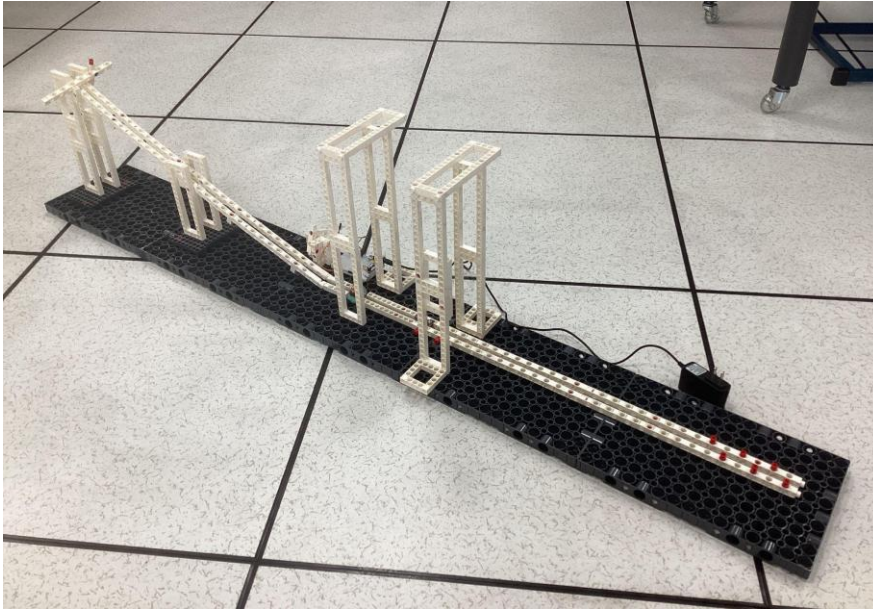
電源供應器 5V

肆、研究設計與方法

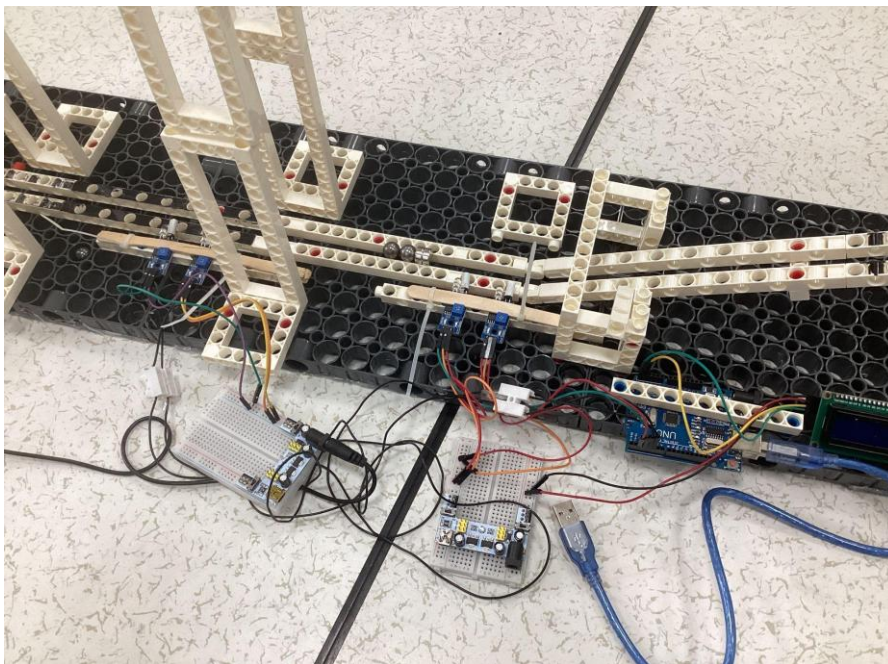
一、探究磁球與強力磁鐵對磁球能量傳送效果

利用科學積木製作適合鐵珠移動的軌道，包括斜面軌道與平面軌道，再將一顆鐵珠由斜面軌道上不同位置，自由釋放下滑，預期產生一個碰撞前不同初速度的變因，或是控制在相同位置下滑，控制每一次的碰撞前速度相同。

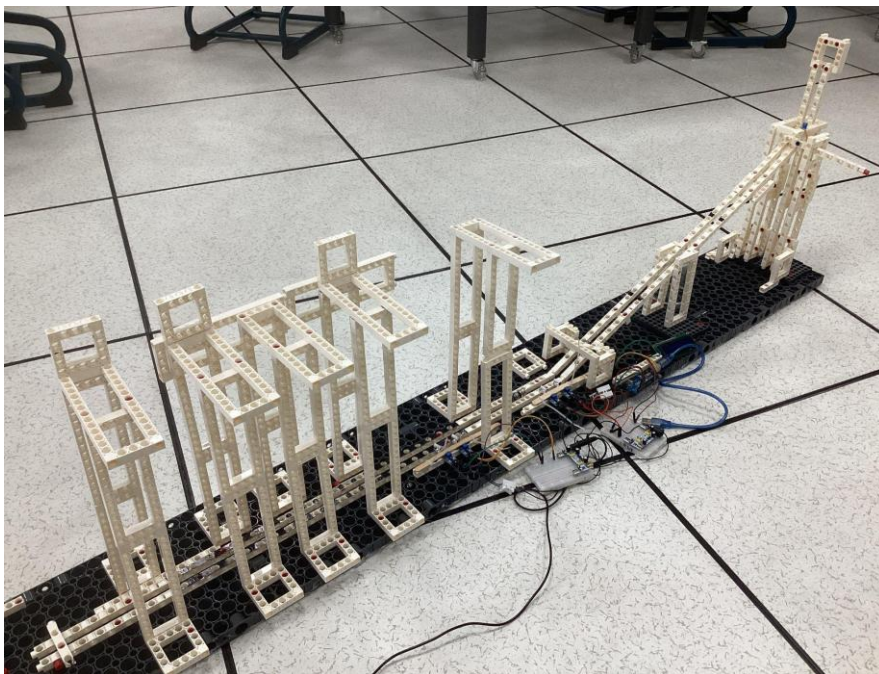
下滑鐵珠撞擊平面軌道上串聯排列的磁鐵與鐵珠，磁鐵前方的鐵珠即發射出去。用平板進行慢動作拍攝或紅外線模組測速，記錄每一次鐵珠的運動速度。



圖：科學積木軌道裝置



圖：紅外線測試裝置

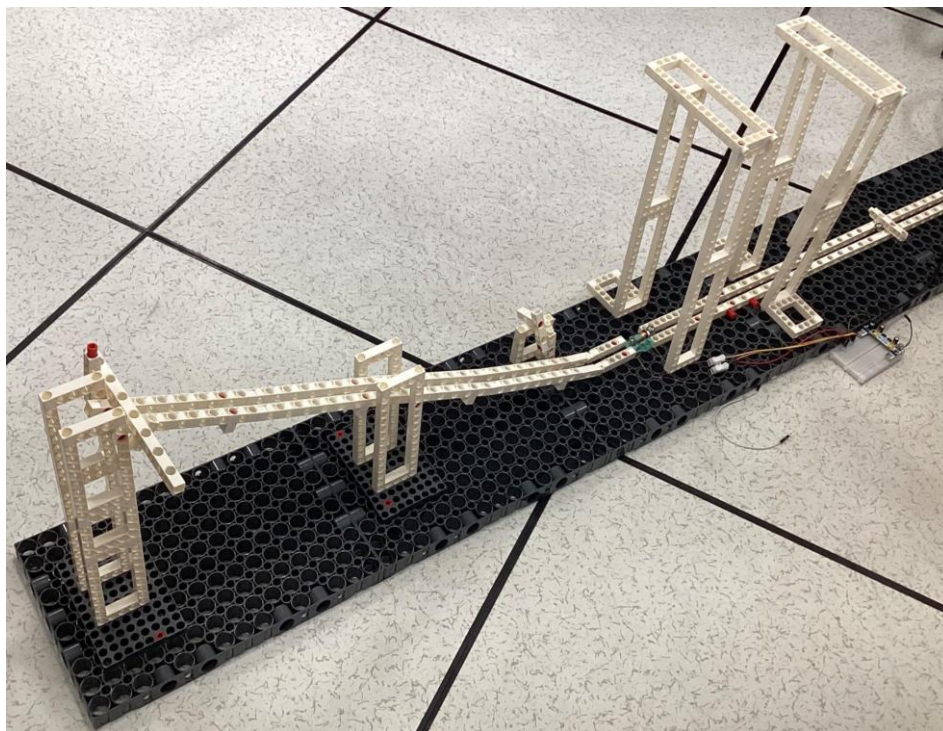


圖：磁球與強力磁鐵科學積木軌道裝置

二、探究線圈磁力對鐵球能量傳送效果

利用科學積木製作適合鐵珠移動的軌道，包括斜面與平面軌道，再將一顆鐵珠由斜面軌道上不同位置，自由釋放下滑，預期產生一個碰撞前不同初速度的變因，或是控制在相同位置下滑，控制每一次的碰撞前速度相同。

下滑鐵珠撞擊平面軌道上通電線圈，線圈前方的鐵珠即發射出去。用平板進行慢動作拍攝或紅外線模組測速，記錄每一次鐵珠的運動速度。



圖：線圈實驗裝置軌道

伍、研究結果與討論

(一)、鐵球與磁球配置對能量傳遞的影響

實驗一：不同鐵球數量是否會影響能量傳遞效率與最前端鐵球的發射速度

實驗 1-1 由斜面長 62 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上磁球後，測量撞擊後，測量鐵球前方排列不同鐵球數量時，鐵球射出後，在固定位置的速度。

表 1-1 磁球前方放置不同數量鐵球，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

	原速 (cm/s)	後速 (cm/s)	速度轉換率(%)
1顆	50	18.75	37.50
2顆	48.57	28.75	59.19
3顆	41.07	38.57	93.92
4顆	59.29	25.76	43.44
5顆	42.86	11.38	26.54

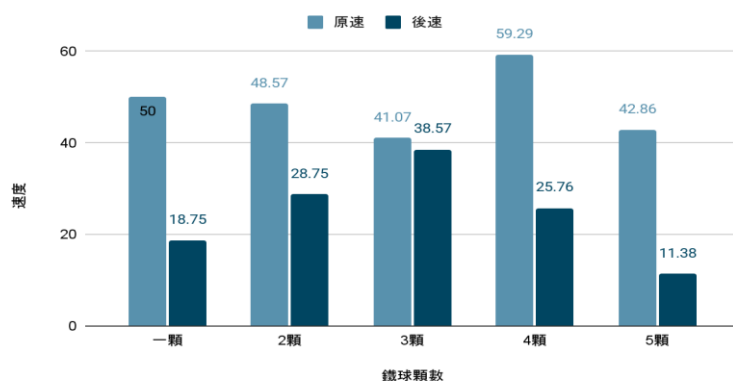


圖 1-1-1 磁球前方放置不同數量鐵球對鐵球速度變化比較圖

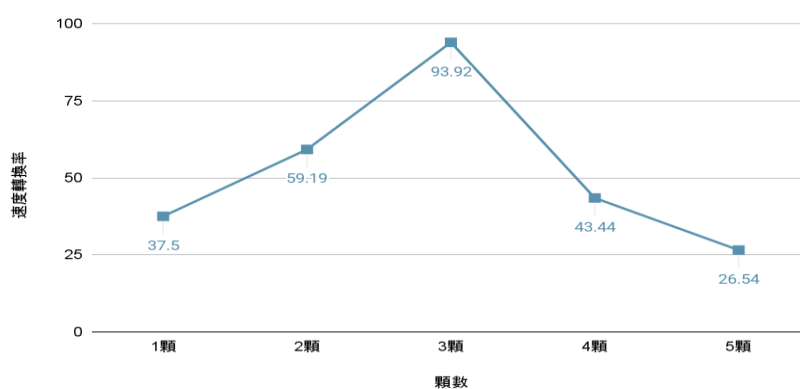


圖 1-1-2 磁球前方放置不同數量鐵球對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 磁球前的鐵球顆數 5 顆時，速度轉換效果最差，推測是因為鐵球數量最多，能量傳遞時能量損失較大。
- (2) 磁球磁力小，所以吸引鐵球的力量比較小。
- (3) 鐵球 3 顆時速度轉換率最好。

實驗 1-2 由斜面長 6 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上的強力磁鐵後，測量撞擊後，測量鐵球前方排列不同鐵球數量時，鐵球射出後，在固定位置的速度。

表 1-2 強力磁鐵前方放置不同數量鐵球，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

顆數	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
1顆	39.84	0.00	0.00
2顆	13.98	23.77	170.03
3顆	13.51	31.94	236.42
4顆	50	65.83	131.66
5顆	54.29	70	128.94

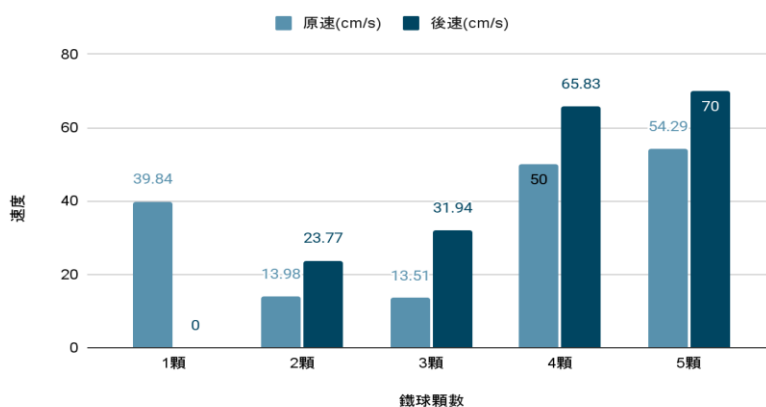


圖 1-2-1 強力磁鐵前方放置不同數量鐵球對鐵球速度變化比較圖

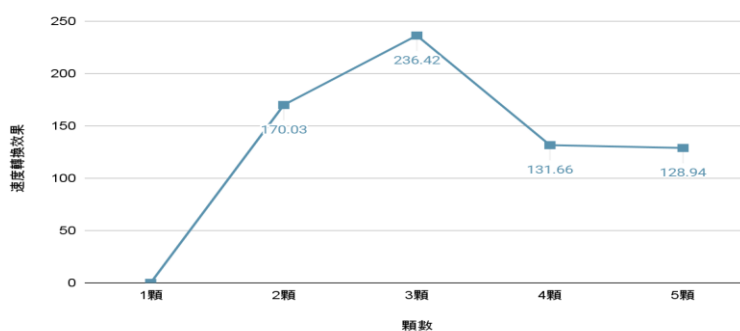


圖 1-2-2 強力磁鐵前方放置不同數量鐵球對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 我們發現強力磁鐵前放置3顆鐵球時，速度轉換效果最好。
- (2) 強力磁鐵前放置1顆鐵球時，強力磁鐵的強大磁力會把鐵球吸住，所以無法發射。
- (3) 每次實驗鐵球的原速或後速，速度的數字變化大，推測是因為重擊影響磁鐵的磁力。
- (4) 原本預計與磁球進行比較，所以下滑距離訂為 62 公分，但發現在強力磁鐵實驗中，下滑距離長，撞擊前的速度太快，反而會使速度的轉換效果變差，或是鐵球容易出軌，故而修正為下滑距離6公分。
- (5) 除了鐵球一顆時無法發射出去，其他的都可以發射出去，並且速度都比本來快。
- (6) 推測因為速度太快。偏離軌道時無法修正，而速度較慢時，偏離軌道時可以被強力磁鐵修正，所以可以打到磁鐵的中心。

實驗 1-3 由斜面長 62 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上強力磁鐵後，測量撞擊後，鐵球射出在固定位置的速度。

表 1-3 強力磁鐵前方放置不同鐵球數量鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

顆數	原速 (cm/s)	後速 (cm/s)	速度轉換率(%)
1	30.02	0	0
2	30.17	15	49.72
3	27.52	21.72	78.92
4	30.40	15.07	49.57
5	28.85	10.07	35.33

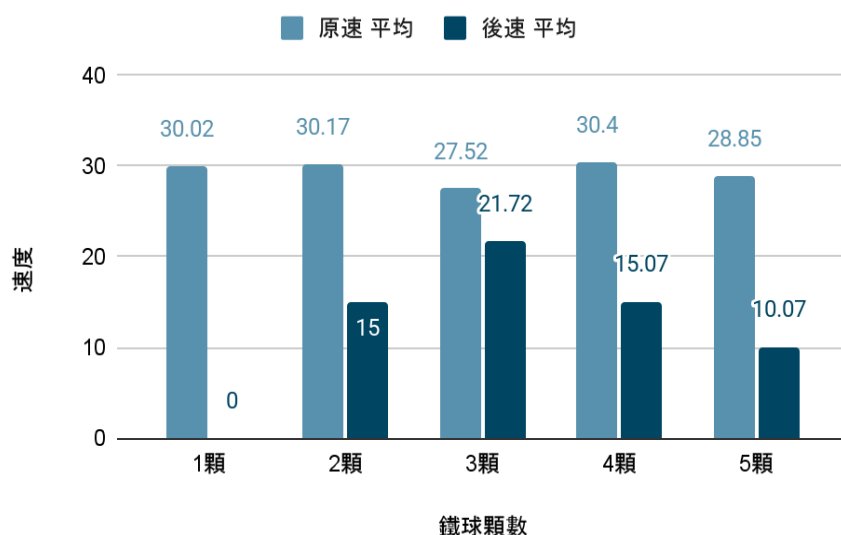


圖 1-3-1 強力磁鐵前方放置不同鐵球數量對鐵球速度變化比較圖

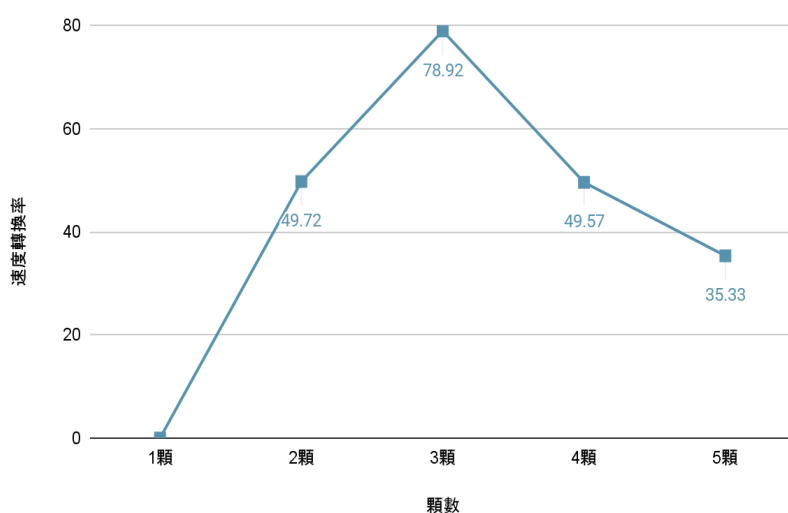


圖 1-3-2 強力磁鐵前方放置不同鐵球數量對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 下滑距離 62 公分時，強力磁鐵前方放置3顆鐵球時，鐵球發射速度最快，速度轉換效果也最好。
- (2) 因為撞擊力量大，而在把鐵球發射出去的能量中，下滑時加速的力佔了較大的比例，以磁鐵前方三顆鐵球時，能量轉換效果最好。

實驗二：增加鐵球與磁鐵組數，兩組間的距離改變時，能量傳遞效率是否會隨之改變

實驗 2-1 平面軌道上擺放不同組數磁球與鐵球，利用鐵球在固定斜面 62cm 位置下滑，鐵球數量2顆，組間距離 1 cm，比較磁球與鐵球在組數間時，測量撞擊後的鐵球速度轉換效果。

表 2-1 磁球與鐵球不同組數時，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

組數	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
一組	48.57	28.75	59.19
二組	49.17	23.41	47.16
三組	53.57	13.71	25.58
四組	75	3.70	4.94

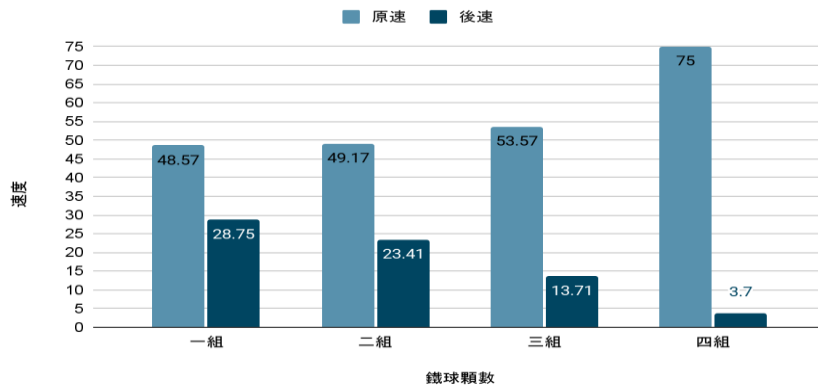


圖 2-1-1 磁球與鐵球不同組數對鐵球速度變化比較圖

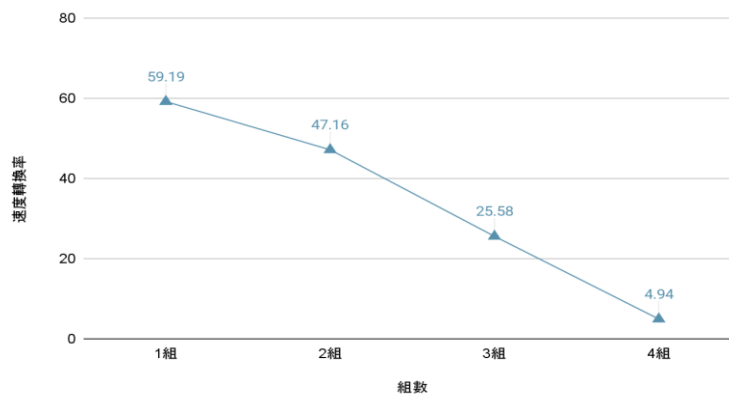


圖 2-1-2 磁球與鐵球不同組數對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 一組時轉換效果最好，推測是因為能量損失較小
- (2) 四組時轉換效果較差，推測是因為能量損失較大

實驗 2-2 平面軌道上擺放不同組數強力磁鐵與鐵球，利用鐵球在固定斜面 6 cm 位置下滑，鐵球數量2顆，組間距離 15 cm，比較強力磁鐵與鐵球在測量撞擊後的鐵球速度轉換效果。

表 2-2 不同強力磁鐵組數，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

組數	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
一組	9.12	29.09	318.98
二組	9.28	21.97	236.84
三組	10.25	16.69	162.91
四組	9.70	21.50	221.68

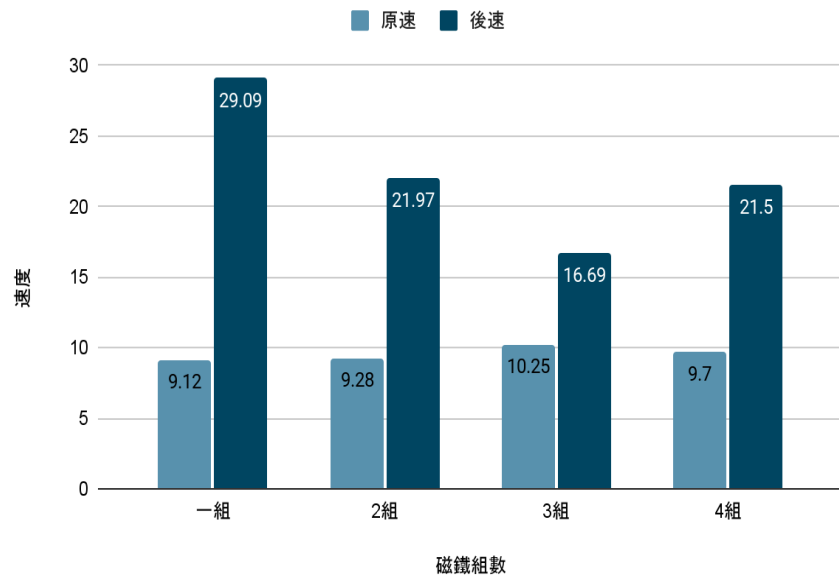


圖 2-2-1 強力磁鐵與鐵球不同組數對鐵球速度變化比較圖

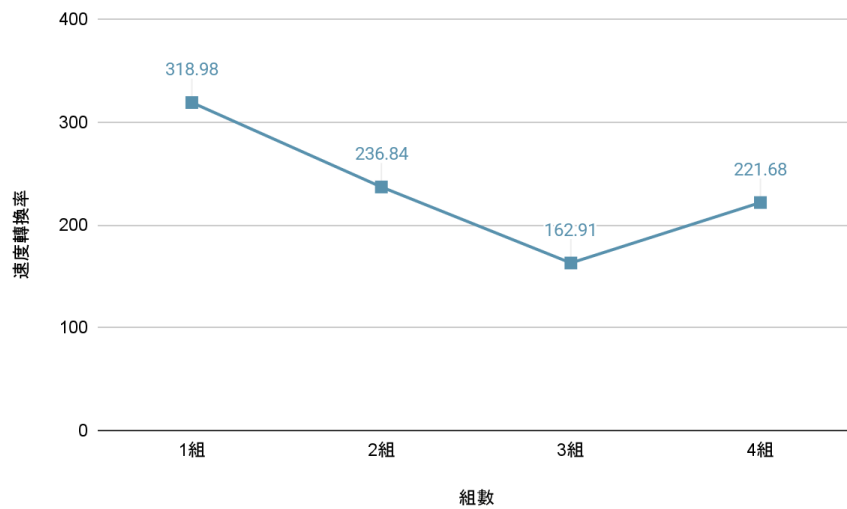


圖 2-2-2 強力磁鐵與鐵球不同組數對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 我們發現軌道排放一組時，速度轉換效果最好。
- (2) 軌道上排放二組、三組或四組時，因為前面的強力磁鐵加速了鐵球速度，所以最後一個鐵球射出速度反而較一組時還慢。
- (3) 下滑距離較低時，撞擊強力磁鐵前的原速較慢，撞擊強力磁鐵後的速度明顯比加快。

實驗三：鐵球下滑距離長短是否會影響輸入能量，進而影響發射鐵球的速度

實驗 3-1 由斜面不同高度處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上磁球後，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)鐵珠在固定位置的速度。

表 3-1 不同下滑距離撞擊強力磁鐵，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

下滑距離(cm)	原速	後速	速度轉換率(%)
6	9.25	2.61	28.21
23	17.40	3.07	17.64
45	29.44	4.76	16.17
62	48.57	28.75	59.19

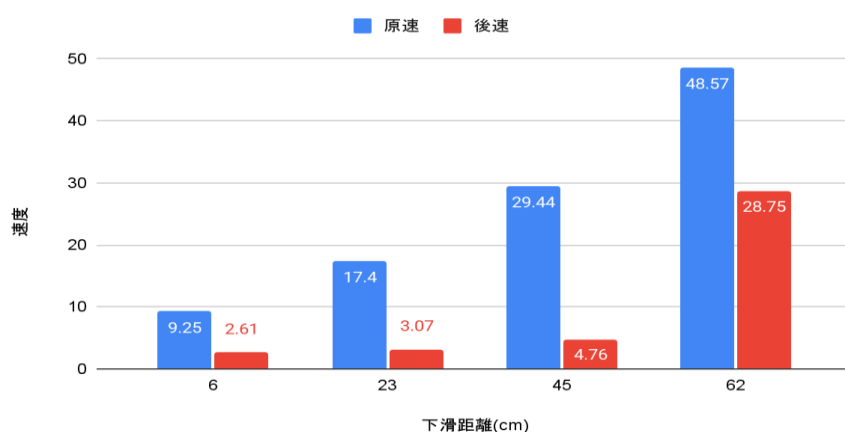


圖 3-1-1 不同下滑高度對鐵球速度變化比較圖

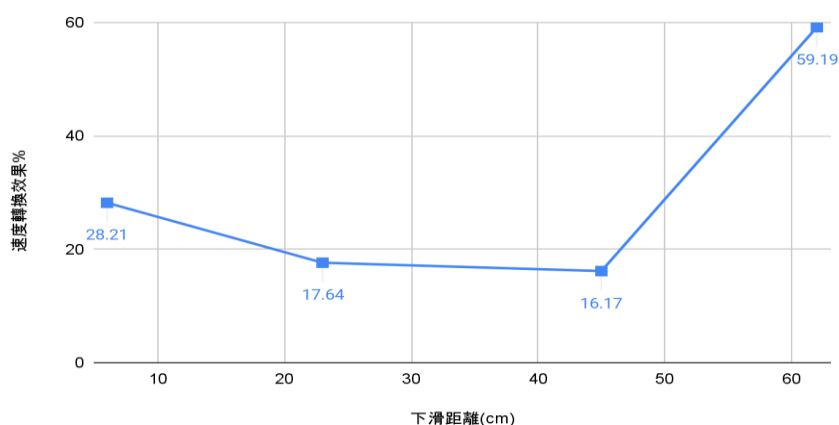


圖 3-1-2 不同下滑高度對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 下滑距離 62 公分時效果最好，推測時因為磁球磁力太小需要很大的力量才撞的出去。
- (2) 磁球實驗中，每一次撞擊後的後速都比撞擊前的原速慢。

實驗 3-2 由斜面不同高度處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上強力磁鐵後，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)鐵珠在固定位置的速度。

表 3-2 不同下滑距離撞擊強力磁鐵，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

下滑距離(cm)	原速	後速	速度轉換率(%)
6	8.71	13.30	152.70
23	19.48	15.06	77.31
45	28.31	26.06	92.08
62	32.62	28.3	84.91

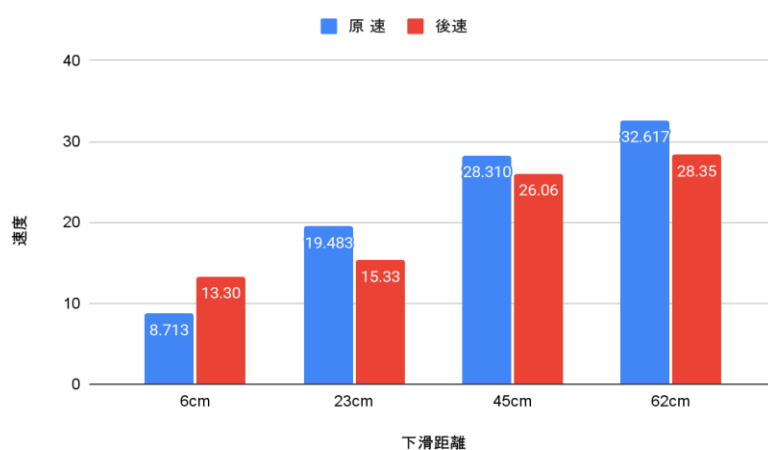


圖 3-2-1 不同下滑高度對鐵球速度變化比較圖

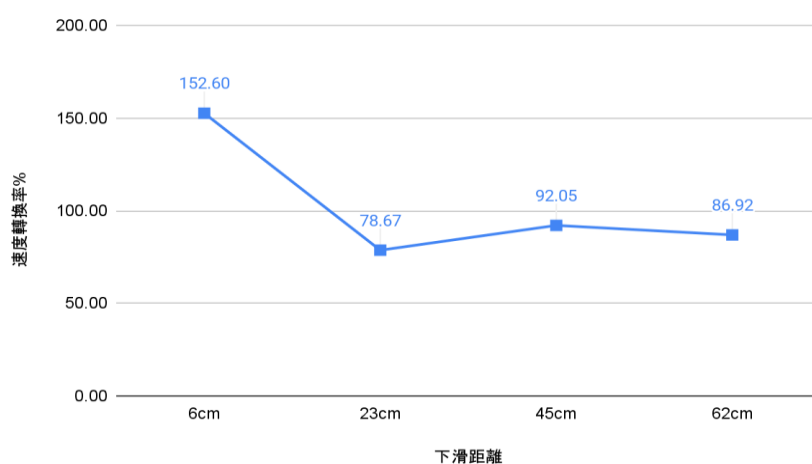


圖 3-2-2 不同下滑高度對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 發現下滑距離愈長，碰撞前速度愈快，速度轉換效果愈差，表示能量傳送效果差；如果原速太快，鐵球在強力磁鐵的磁場範圍內加速的效果就不會那麼好。
- (2) 下滑距離 6 公分時，速度轉換效果最好，因為碰撞前速度慢，在經過強力磁鐵加速後，導致速度轉換效果變好。

(二)、磁鐵特性對能量傳遞的影響

實驗四：鐵球與磁鐵組之間的距離改變時，能量傳遞效率是否會隨之改變

實驗 4-1 平面軌道上擺放兩組磁球與鐵球，利用鐵球在固定斜面 62cm 位置下滑，比較兩組

磁球在不同間格距離時，測量撞擊後的能量轉換效果

表 4-1 兩組磁球與鐵球不同間隔距離，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

距離/速度	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
1cm	49.17	23.41	47.61
2cm	51.11	7.61	14.88
3cm	50.95	6.32	12.41
4cm	42.06	7.97	18.95
5cm	47.78	7.97	16.68

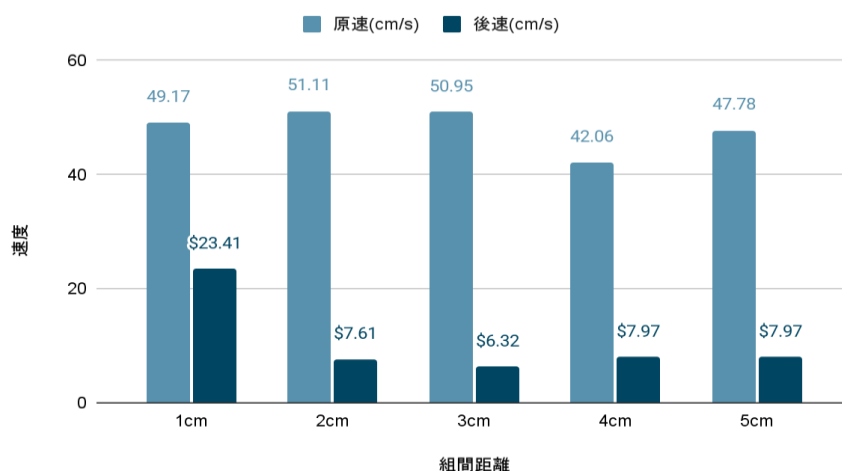


圖 4-1-1 兩組磁球與鐵球不同間隔距離對鐵球速度變化比較圖

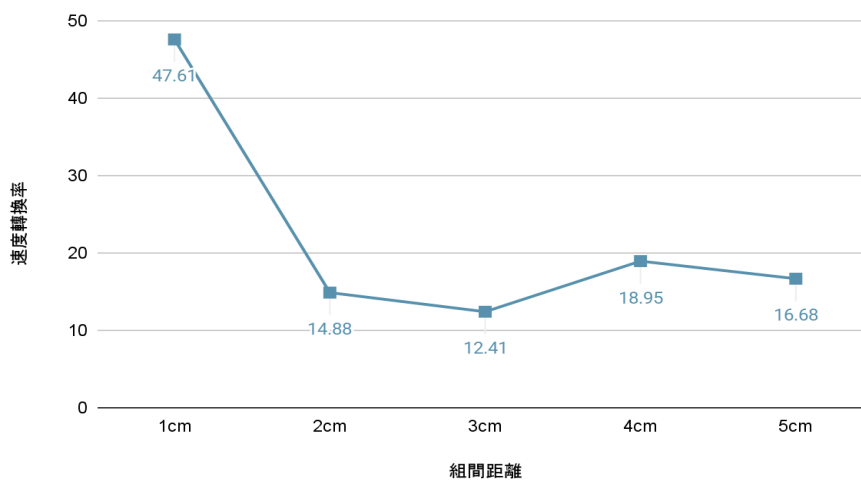


圖 4-1-2 兩組磁球與鐵球不同間隔距離對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 組間距離一公分時，轉換效果最好，因為在軌道移動有摩擦力，而一公分距離短可以減少摩擦損耗，所以能量損失較小。
- (2) 組間距離三公分時，轉換效果最差。

實驗 4-2 平面軌道上擺放兩組強磁與鐵球，利用鐵球在固定斜面 6 cm 位置下滑，比較兩組強磁在不同間格距離時，測量撞擊後的能量轉換效果

表 4-2 二組強磁之不同間距，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

距離	初速(cm/s)	中速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
10cm	6.73	22.76	27.21	404.31
15cm	7.18	100	83.33	1160.59
20cm	6.83	25.82	28.79	421.52
25cm	8.24	27	27.50	333.74

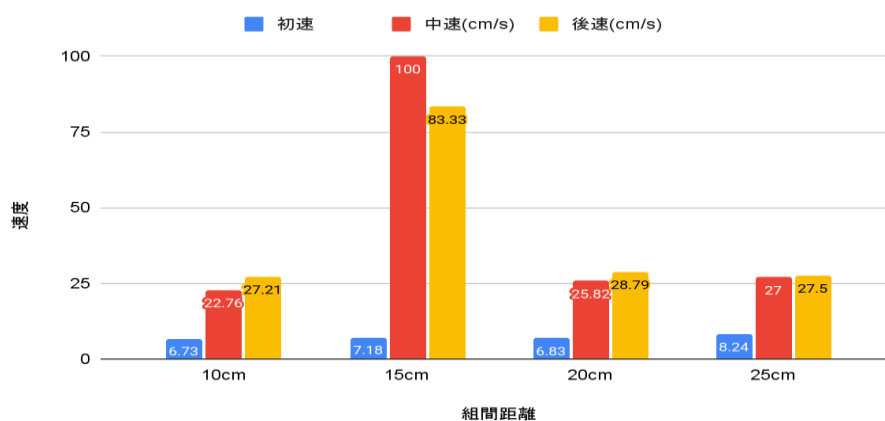


圖 4-2-1 不同強磁間距對鐵球速度變化比較圖

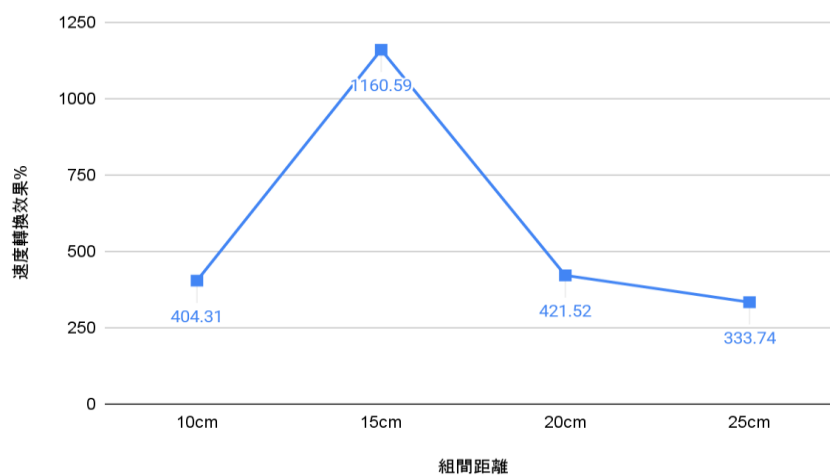


圖 4-2-2 不同強磁間距對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 磁鐵間距 15 cm時，速度轉換效果最好。
- (2) 磁鐵間距 10 cm時，速度轉換效果不是最好，推測是因為距離太近時，因為強力磁鐵的吸引明顯，導致鐵球射出速度變慢。
- (3) 磁鐵間距 20 cm到 25 cm轉換效果逐漸減少，推測是因為距離越長摩擦力影響大，所以轉換效果變差。
- (4) 在強力磁鐵的實驗中，最後鐵球射出速度明顯比原速度快。

實驗五：不同磁極排列方式（同極相對、異極相對）對能量傳遞效率有何影響

實驗 5-1 由軌道高度 6 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上的兩組強磁與鐵珠，兩組強磁方向分別為相吸及相斥排列，測量撞擊前速度(原速)、磁組中間速度(中速)、最後鐵珠射出速度(後速)，比較能量轉換之效果

表 5-1 兩組強磁排列方向相吸與相斥，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

	原速(cm/s)	中速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
相吸	8.20	87.5	125	1524.39
相斥	7.18	100	83.33	1160.58

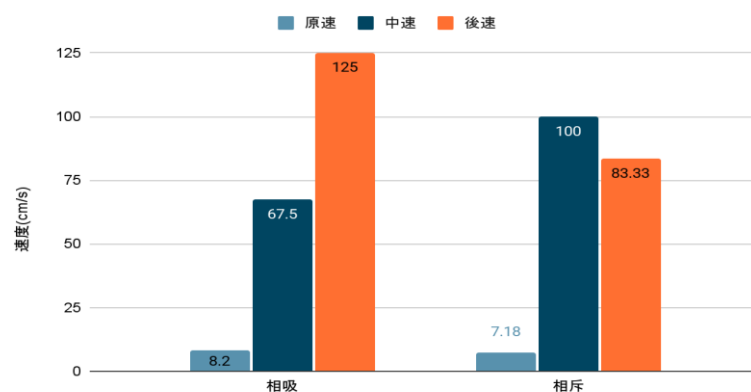


圖 5-1-1 強磁排列方向相吸與相斥排列對鐵球速度變化比較圖

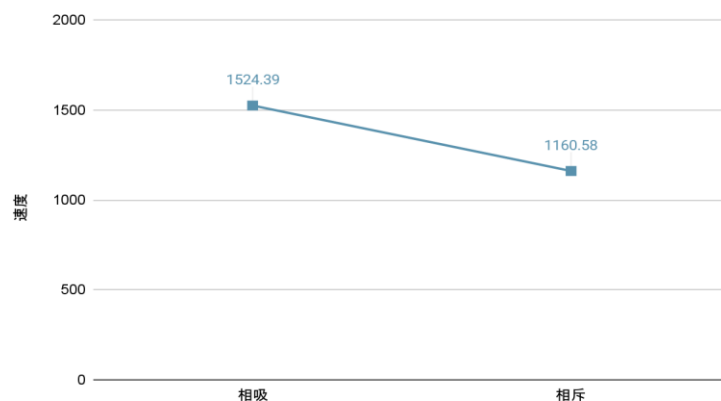


圖 5-1-2 強磁排列方向相吸與相斥排列對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 當軌道上放置兩組強磁，強磁方向分別為相吸與相斥進行比較，發現強磁方向為相吸時，速度轉換效果較佳，推測是相吸時，能量轉換成動能多。
- (2) 強磁方向相吸時，由原速到中間速度再到後來速度是愈來愈快。但強磁方向為相斥時，速度的變化是中間速度最快，後來速度又變慢。
- (3) 不論強力磁鐵方向為相吸或相斥，鐵球後來射出速度都比原速度快。

(三)、線圈電磁力的比較研究

實驗六：線圈圈數的不同是否會影響鐵球的加速效果與發射速度

實驗 6-1 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，撞擊平面軌道上不同圈數，線徑0.21mm，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度。

表 6-1 線徑 0.21 mm，不同線圈圈數，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

圈數	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
800	66.67	2.70	4.05
1000	69.44	3.10	4.46
1200	66.43	3.24	4.88

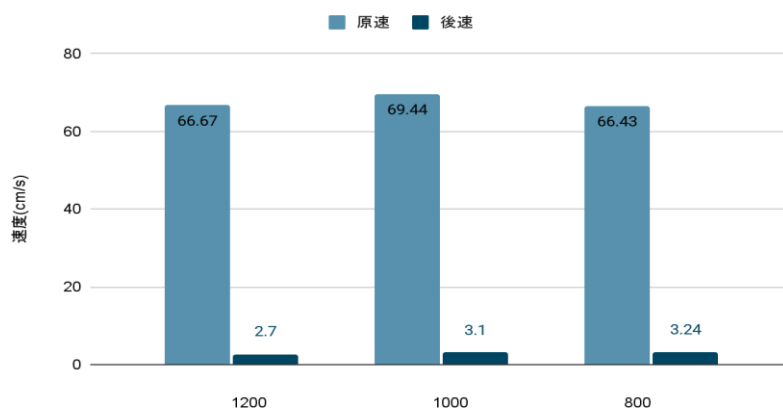


圖 6-1-1 線徑 0.21 mm，不同線圈圈數對鐵球速度變化比較圖

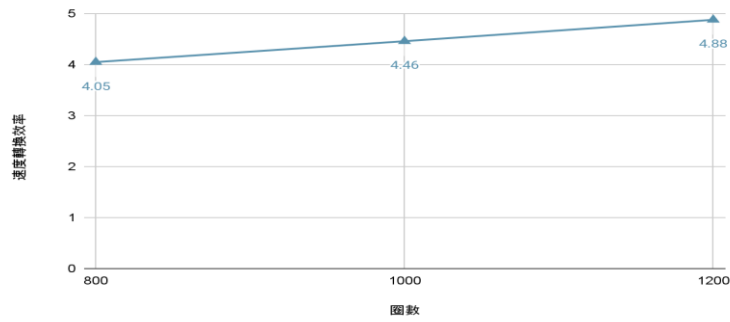


圖 6-1-2 線徑 0.21 mm，不同線圈圈數對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 圈數越多速度轉換效果越好，因為圈數越多，磁力大，鐵球射出速度快。
- (2) 線圈實驗中，用5V電壓所產生的磁力小，撞擊前的原速比後速快。

實驗 6-2 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，撞擊平面軌道上不同圈數，線徑 0.11mm，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度

表 6-2 線徑 0.11mm，不同線圈圈數，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

圈速	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
800	49.15	6.39	13.00
1000	52.50	9.32	17.75
1200	39.68	11.77	29.66

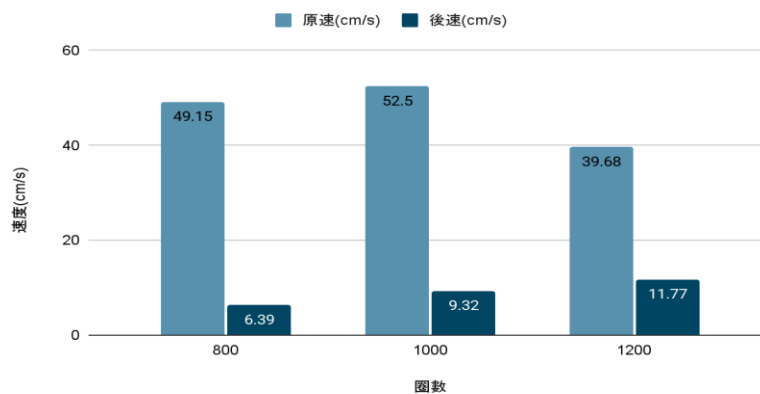


圖 6-2-1 線徑 0.11 mm，不同線圈圈數對鐵球速度變化比較圖

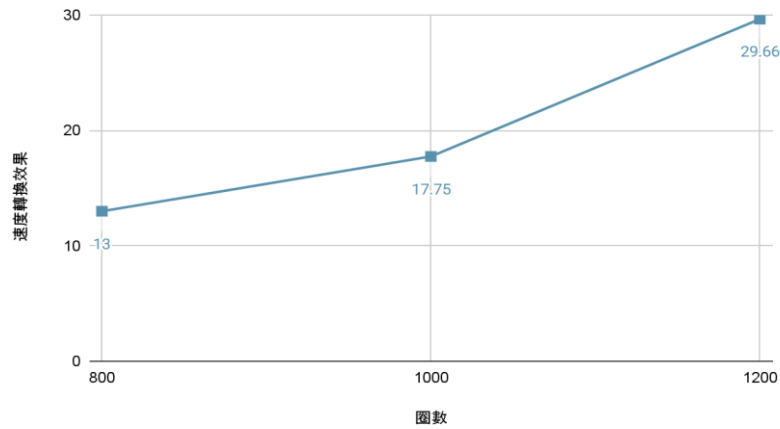


圖 6-2-2 線徑 0.11 mm，不同線圈圈數對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 圈數越多速度轉換效果越好，因為圈數越多，磁力大，鐵球射出速度大。
- (2) 線圈實驗中，用 5V 電壓所產生的磁力小，撞擊前的原速比後速快。
- (3) 線徑 0.11 mm 與線徑 0.21 mm 的圈數實驗，都得道相同的變化趨勢。

實驗 6-3 由軌道高度 62 公分處沿斜面下滑，撞擊平面軌道上不同圈數，線徑 0.4mm，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度。

表 6-3 線徑 0.4 mm，不同線圈圈數，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

圈數	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率(%)
300	70.00	6.43	9.19
400	65.00	6.23	9.58
500	62.7	6.50	10.37

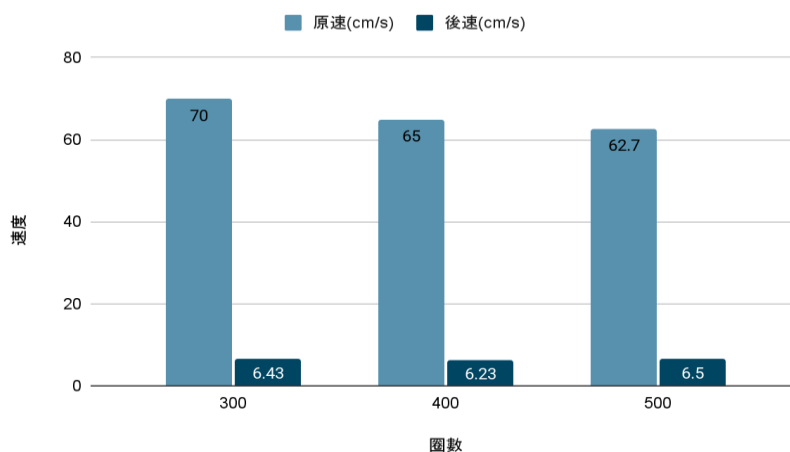


圖 6-3-1 線徑 0.4 mm，不同線圈圈數鐵球速度變化比較圖

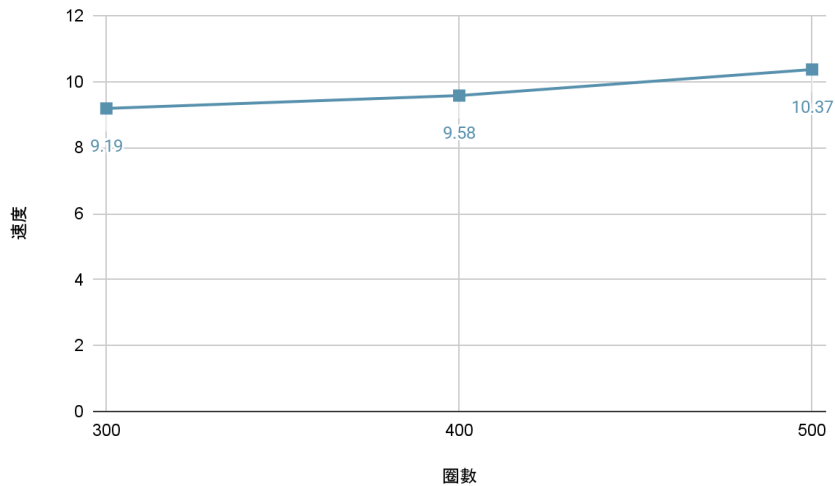


圖 6-3-2：線徑 0.4 mm，不同線圈圈數對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 圈數越多速度轉換效果越好，因為圈數越多，磁力大，鐵球射出速度大。
- (2) 線圈實驗中，用 5V 電壓所產生的磁力小，撞擊前的原速比後速快。
- (3) 不管線徑粗或細，變化趨勢都一樣。

實驗七：線圈線徑的不同是否會影響線圈磁力大小，進而改變能量傳遞效率

實驗 7-1 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上，線圈圈數 600 圈，不同線徑的粗細線圈後，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度。

表 7-1 不同線圈線徑，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

線徑	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
0.11mm	33.33	4.46	13.38
0.21mm	35.12	3	8.54
0.29mm	29.44	2.82	9.58

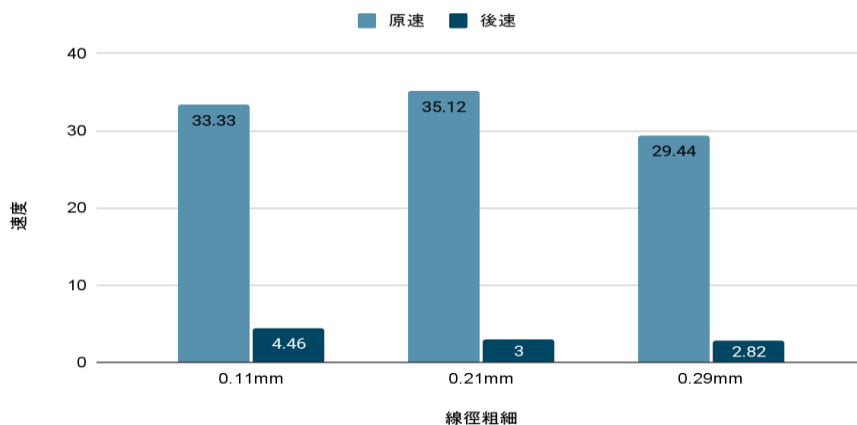


圖 7-1-1 不同線圈線徑對鐵球速度變化比較圖

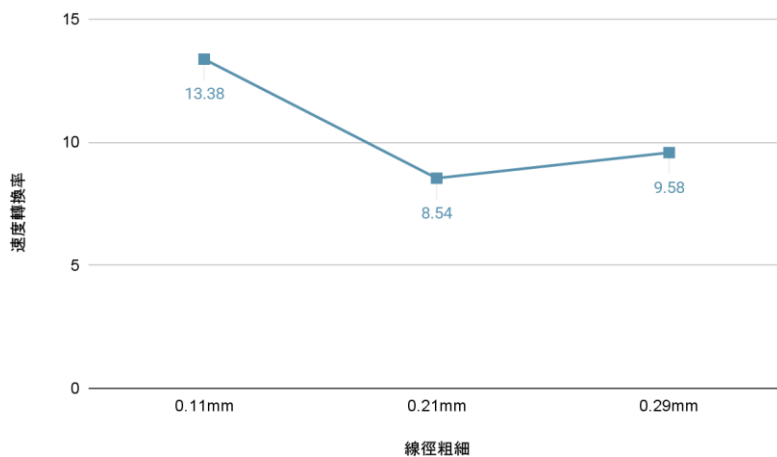


圖 7-1-2 不同線圈線徑對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 線徑 0.11 mm 的速度轉換效果最好。
- (2) 速度轉換效果沒有隨線徑粗細不同呈現規律變化

實驗 7-2 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上，線圈圈數800 圈，不同線徑的粗細線圈後，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度。

表 7-2 不同線圈線徑，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

線徑	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
0.11mm	49.15	6.39	13.00
0.21mm	66.69	4.70	7.05
0.29mm	41.98	5.56	13.38

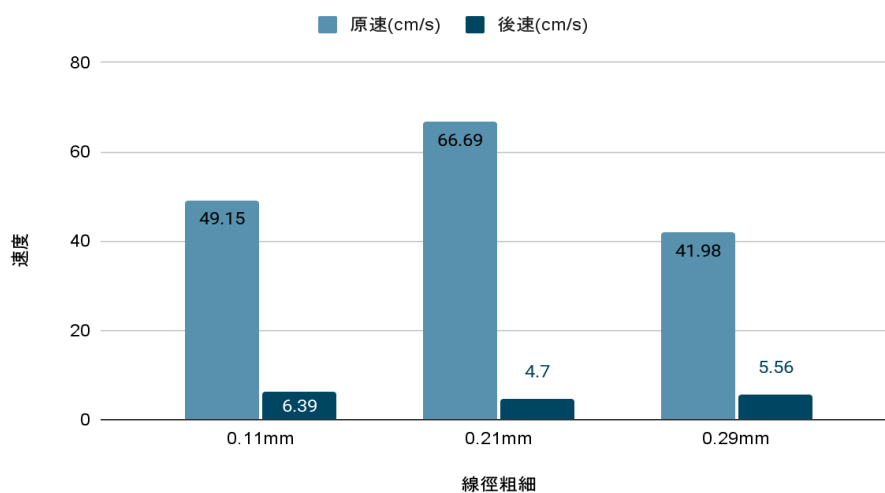


圖 7-2-1 不同線圈線徑對鐵球速度變化比較圖

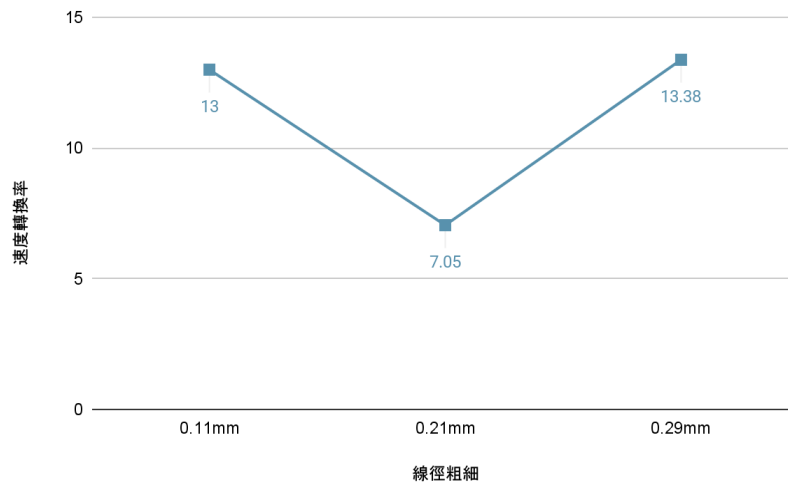


圖 7-2-2 不同線圈線徑對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 線徑 0.29mm 的速度轉換效果最好。
- (2) 速度轉換效果沒有隨線徑粗細不同呈現規律變化，推測是因為線圈本來磁力就很小，所以影響速度轉換的原因不明顯，應再加入其他因素一起討論。

實驗八：線圈鐵芯粗細的不同是否會影響鐵球的加速效果與發射速度？

實驗 8-1 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，線圈線徑 0.21 mm，1200 圈，分別撞擊平面軌道上的粗鐵芯線圈和細鐵芯線圈，測量鐵球發射速度。

表 8-1 纏繞粗細不同鐵芯，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
粗鐵芯	35.41	3.90	12%
細鐵芯	35.81	2.37	7%

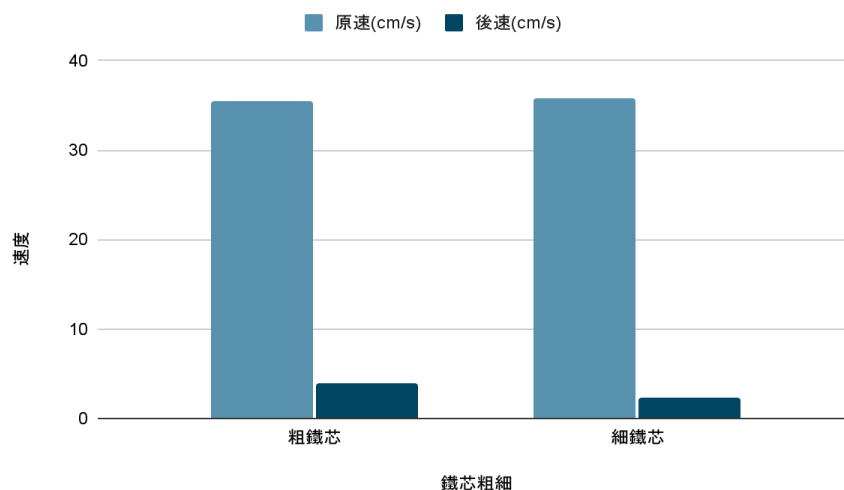


圖 8-1-1 線圈鐵芯粗細不同對鐵球速度變化比較圖

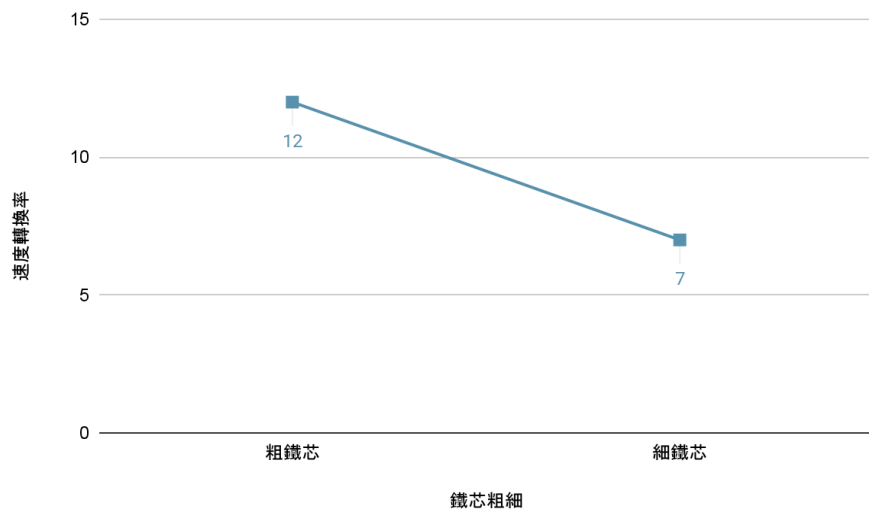


圖 8-1-2 線圈鐵芯粗細不同對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 粗鐵芯轉換效果比細鐵芯轉換效果好。

實驗 8-2 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，線圈線徑 0.29 mm，800 圈，分別撞擊平面軌道上的粗鐵芯線圈和細鐵芯線圈，測量鐵球發射速度。

表 8-2 纏繞粗細不同鐵芯，鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
粗鐵芯	41.98	5.62	13.38
細鐵芯	47.62	4.45	9.34

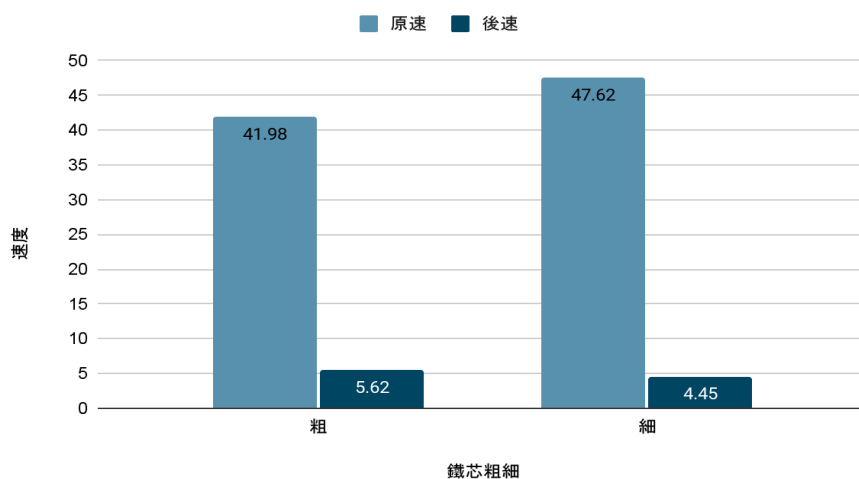


圖 8-2-1 纏繞不同粗細鐵芯對鐵球速度變化比較圖

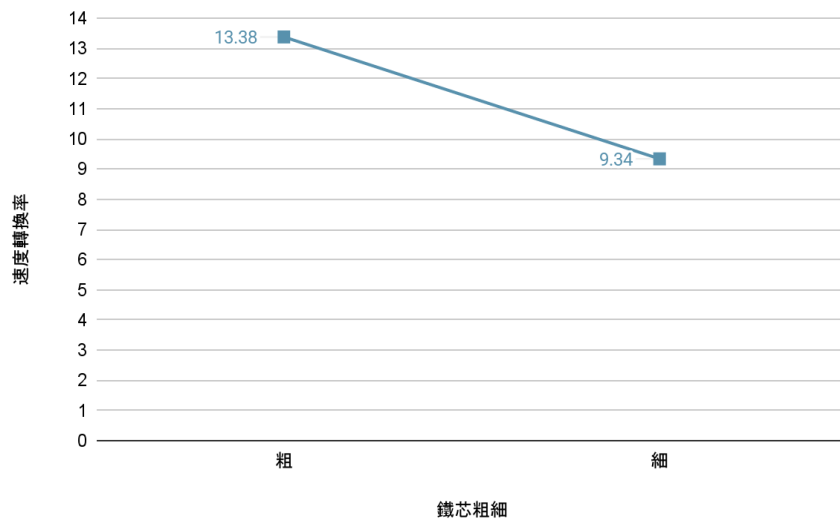


圖 8-2-2 纏繞不同粗細鐵芯對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 粗鐵芯轉換效果比細鐵芯轉換效果好。
- (2) 不論線徑粗或細，圈數多或少，相同條件時，粗鐵芯轉換效果都比細鐵芯好。

實驗九：磁球、強力磁鐵與線圈電磁力在加速鐵球時，哪一種方式的能量傳遞效果較佳

實驗 9-1 由軌道高度 62 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上磁球及強磁後，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度。

表 9-1 下滑距離 62 公分，不同磁鐵種類對鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

磁鐵種類	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
磁球	33.60	10.61	31.58
強磁	31.47	23.21	73.75
線圈	67.44	2.10	3.11

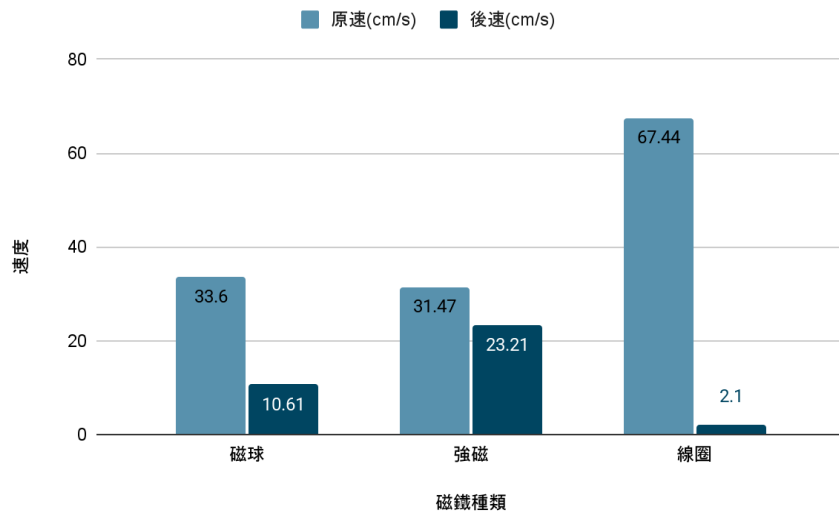


圖 9-1-1 不同磁鐵種類對鐵球速度變化比較圖

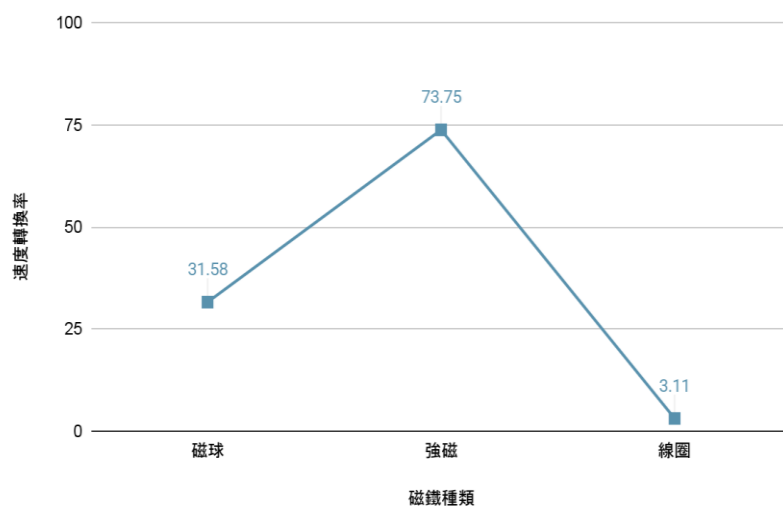


圖 9-1-2 不同磁鐵種類對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 三種不同的磁鐵下滑距離 62 公分，發現強力磁鐵的速度轉換效果最好。
- (2) 雖然線圈實驗看起來效果最差，但是線圈有一個優點就是能改變電壓和電流，讓效果更接近強力磁鐵或比強力磁鐵更好。

實驗 9-2 由軌道高度 6 公分處，沿斜面下滑，分別撞擊平面軌道上磁球及強磁後，測量撞擊前(原速)與撞擊後(後速)固定距離的速度。

表 9-1 下滑距離 6 公分，不同磁鐵種類對鐵球射出速度與速度轉換效果之比較

	原速(cm/s)	後速(cm/s)	速度轉換率%
磁球	9.25	2.61	28.21

強磁	13.98	23.77	170.03
線圈	13.23	1.84	13.93

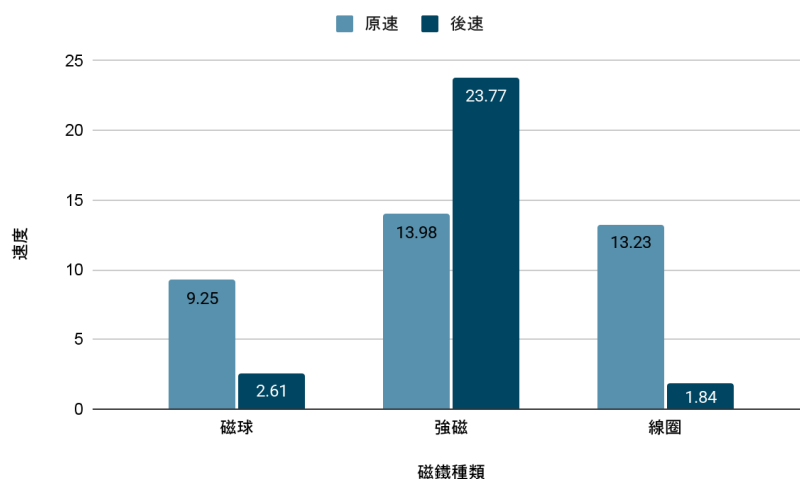


圖 9-2-1 不同磁鐵種類鐵球速度變化比較圖

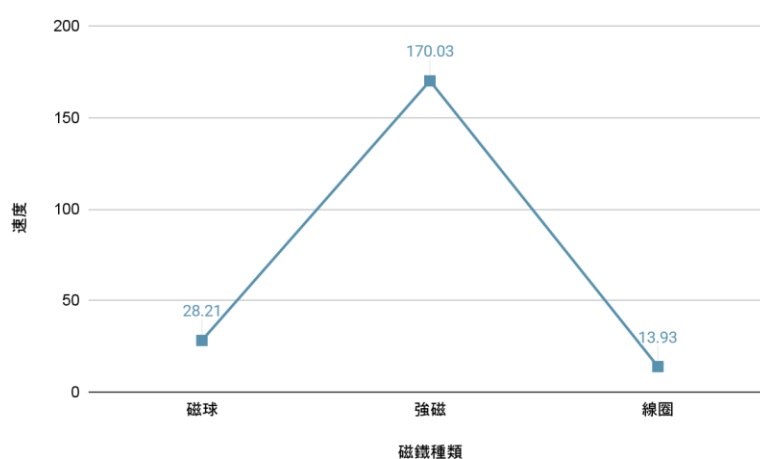


圖 9-2-2 不同磁鐵種類對鐵球射出後速度轉換效果

討論：

- (1) 做強力磁鐵的實驗時，在影片中發現當下滑鐵珠碰撞強磁時，除了最前方的鐵珠會射出，強磁本身也會有反作用力，可能也是影響實驗的原因。
- (2) 雖然線圈實驗看起來效果最差，但是線圈有一個優點就是能改變電壓和電流，讓效果更接近強力磁鐵或比強力磁鐵更好。
- (3) 三種不同的磁鐵下滑距離 6 公分，發現強力磁鐵的速度轉換效果明顯比慈球或線圈好，也比原本的原速度快很多。

陸、結論

1. 前面軌道上放置一到五顆鐵球，用 62 公分和 6 公分下滑距離，實驗發現鐵球和強力磁鐵三顆時，速度轉換效果較佳，下滑距離 6 公分時，磁球磁力較弱，多數無法發射。
2. 軌道上放置一到四組磁球或強磁，不管下滑距離是 62 公分還是 6 公分，都是放置一組時，速度轉換效果最好。
3. 強力磁鐵不同下滑距離實驗中，發現下滑距離 62 公分時，碰撞速度最快，鐵球發射出去的速度轉換效果較差，下滑距離 6 公分時，衝撞速度慢，鐵球射出去的速度轉換效果好。
4. 比較軌道上放置兩組磁球，並改變不同的組間距離時，當組間距離 1 公分，速度轉換效果最好；在兩組強磁時，則是當組間距離 15 公分時效果最好。
5. 比較軌道上放置兩組強力磁鐵，擺放的方向為相吸和相斥，實驗結果顯示強力磁鐵方向為相吸時，速度轉換效果好。
6. 線圈圈數實驗中，不管漆包線的線徑粗或細，都是圈數越多速度轉換效果越好。
7. 在軌道上放置線圈數相同，不同粗細的線圈線徑，我們無法找到規律。
8. 改變不同線徑粗細，或線圈圈數，都是粗鐵芯時，速度轉換效果比細鐵芯好。
9. 比較磁球、強力磁鐵與線圈做成電磁鐵中，三種磁鐵速度轉換效果為 強力磁鐵>磁球>線圈。
10. 由軌道上不同位置 6 公分和 62 公分處時下滑，三種磁鐵速度轉換效果 強力磁鐵>磁球>線圈。
11. 磁球和強力磁鐵的實驗，在相同條件重複操作，數據有明顯的變化，推測是因為磁鐵經由撞擊後容易使磁力改變，以及撞擊位置的些許不同，造成實驗上的誤差。
12. 線圈雖然效果明顯較差，但是它具有隨著電壓和電流改變就能調整磁力強弱的優點，後續研究將以磁球及強力磁鐵的性能為基礎，設計以線圈做成的電磁鐵為高斯砲玩具。

綜合以上實驗結論，透過優化鐵球顆數、磁鐵排列及調整線圈等方式，接續完成磁力砲的玩具設計圖，為後續製作與性能奠定基礎。

柒、參考文獻

1. 潘楷彥、曾祥智、侯正浩，「電磁砲！真的還假的？」，中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書
2. 「磁」威顯赫-磁射砲，屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會
3. 「軌道上的急速—磁力砲」，嘉義縣第 53 屆國民中小學科學展覽會作品說明書
4. 「未來科幻武器-高斯磁力炮」，【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】，<https://sciexplore2022.colife.org.tw/uploadfiles/TMa84ed2166e/TMa84ed2166e.pdf>
5. 【Fun科學】真·高斯槍的實彈射擊(鐵釘的穿刺力)，<https://www.youtube.com/watch?v=xTEhMdII84A>
6. 電磁軌道炮的工作原理 <https://youtu.be/bpuajlDguuY>
7. Fun科學】超·電磁砲(噴飛的硬幣) <https://www.youtube.com/watch?v=sKcblM1ayts>
8. 高斯槍<https://www.youtube.com/watch?v=FzxzaJ04GpY>
9. 真·電磁槍！胡子終於做出會被關切的電磁射擊裝置了嗎？【胡思亂搞】https://www.youtube.com/watch?v=h_5YeyR9aP0
10. DIY電磁砲！原來這種科學射擊裝置是這麼容易製作的嗎！？【胡思亂搞】<https://www.youtube.com/watch?v=5NWkYHwPCII>
11. 日本頂級秘密武器威懾中國？| Japan's Railgun | 電磁軌道炮：200公里一擊穿甲！| 臺灣非對稱作戰的利器？| 6.5馬赫殺器,https://youtu.be/hAzdg_WWieo
12. 呂達觀、余承祐、王紘澤，「磁力砲—磁力與能量的探討」，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書，
13. 物理演示實驗室，「高斯來福槍」，(Gauss Rifle/ Gauss Gun)，<https://phy.tw/form/item/198-123>
14. 日本實測電磁軌道炮 電磁炮 超高速炮彈 激光炮 哪個能成主流？，https://youtu.be/38C2Ap-0_fo
15. 磁力炮，<https://gravitrax.fandom.com/zh/wiki/磁力炮?variant=zh-tw>
16. 用保齡球做超大牛頓擺！這值得放在科博館展示吧！【胡思亂搞】，<https://youtu.be/HcSeEBDB1GU>