

附件五之一

彰化縣 114 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選
作品說明書（封面）

作品編號：（由承辦單位編列）

☒國小組

☐數學類

☒自然、科技類

☐國中組

☐人文社會類

組別：國小組

作品名稱：不用電容的線圈電磁砲玩具

◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予收件。

彰化縣 114 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書

第一階段 研究訓練階段

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

(一) 該生三、四年級時接受資優巡迴輔導，每週安排三節課；五年級時改為資優方案：

1. 中年級學習程式編輯，透過不斷地修正，培養該生尋找問題的能力。
2. 依循該生的研究興趣，引導該生可行的方向；閱讀科普文章，與該生討論如何擬定研究方法與流程。

(二) 五年級申請自學計畫：

1. 參觀各種博物館、美術館、天文館，培養發掘問題的能力。
2. 參加科學營隊課程，加強動手實作能力：帕亞科技《暑期機器人挑戰營》、南瀛天文館《火星任務 DIY》、原斗職探中心營隊《我的家庭真可愛—景觀設計》與《一日電子工程師》、遠哲科學營、國立自然科學博物館《奇妙的光動手做》與《飛行器動手做》、國立科學工藝博物館《進階「數感魔法」夏令營》、國立清華大學《機電整合創意實作營》、國立臺灣科學教育館《STEAM X 星際計畫 5 日營》、屏東縣科教中心《扶輪科學營：Tinkering 動手做》、豐泰文教基金會科普講座系列手作課程等。
3. 閱覽科學書籍與影片以培養運用研究工具及資料分析與解釋能力。
4. 閱讀科學展覽作品說明書與獨立研究作品徵選獲獎作品以提升研究成果展現能力。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練

- (一) 帶學生參加獨立研究優秀作品發表會，藉由實地觀摩之機會，發掘自己感興趣的研究領域。
- (二) 協助參加各項校外音樂比賽活動，擴充學習及上台經驗，培養表達、臨場應變能力，塑造自信穩定的心理素質。
- (三) 針對孩子優勢學習能力，協助學生發掘其興趣，加深加廣學生學習課程，擴展學生學習視野與角度。
- (四) 運用資源協助學生蒐集相關資料，引導學生分析資料。
- (五) 帶孩子認知情緒之覺察，針對生活事件做有效因應，並對人際特質覺知進行深入探索，更能理解自己與他人的需求，以建立更真誠、穩固的人際關係和信任感。

第二階段 獨立研究階段（由學生撰寫）

一、研究動機

社會課本有提到恆春和宜蘭的搶孤活動，看到照片人物向上攀爬的比賽，讓我想到我可以設計出一個玩具——用電和磁來模仿搶孤的向上攀爬。想要使用電和磁，是因為我曾經看過三個和電流磁效應、電磁感應有關的有趣影片。第一個影片是《佑來了》（2019）所介紹的「線圈電磁砲」——不需要火藥，就能用電磁力把子彈推出去。第二個影片是國立科學工藝博物館科學學習中心（2015）展示的「簡單電動機迷你電車」——只要將電池前後接上相斥的強力磁鐵並把錫線繞成線圈，就可以成為在線圈內自動前進的電磁列車。第三個影片是清大普物實驗室戴明鳳 NthuGplab（2016）的手動發電機——用手轉動皮帶輪可以帶動馬達，讓馬達發電點亮燈泡。

我構想中的玩具是手動發電且能向上發射的「線圈電磁砲」。但是我不想跟其他人做的一樣，所以我想要一種不使用電容、也不用只能允許瞬間通電的方法。因此我心想：「既然線圈是一種電磁鐵，那我是不是也可以把金屬子彈換成強力磁鐵來實驗？」另外，雖然手動發電機可以點亮燈炮，我不確定手動發電機的電力，夠不夠線圈電磁砲向上發射強力磁鐵？因為我看到頭城搶孤的孤棚棚柱並沒有完全和地面垂直（彭瑞麟，1931-1933；林正芳，2020），所以我決定測試：強力磁鐵在不同線圈電磁砲仰角之下所能發射的距離。如果手動發電不能讓電磁砲垂直發射，也許可以用小一點的仰角完成搶孤玩具或設計成其他運用電磁砲的玩具。

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

（一）研究問題

我的目標是設計出一個運用電和磁的搶孤遊戲或類似的玩具。為了能一步一步完成目標，我把設計分成三個階段。第一階段是調升吸管軌道和水平面的夾角。第二階段是找出可以讓強力磁鐵能夠被水平射出足夠距離的電池電量和線圈層數。第三階段是把電池換

成手搖發電機，找出合適的線圈層數。這三個階段的實驗所用的線圈是我把買來的漆包線拉出來用手一匝一匝地繞在粗吸管外面。但是使用手搖發電機時，我覺得手繞的線圈不夠緊密可能導致電力不強。後來想到：買來的漆包線本來已經很整齊地繞在一個空心軸上而且又繞了很多層，為何不直接拿來當電磁砲的線圈。所以增加了第四階段的實驗：用電池、各種角度的組合與買來整個還沒用過的漆包線圈，找出適合噴射的夾角。依照這四個階段列出以下研究問題：

1. 電磁砲砲管仰角的大小，會影響強力磁鐵被噴出的距離嗎？
2. 電池的電力（數量）與線圈層數，會影響強力磁鐵被噴出的距離嗎？
3. 利用手搖發電機操作與線圈不同層數的組合，也會得出相同的結果嗎？
4. 使用買來已經繞好的漆包線圈，結合各種坡度與強力磁鐵數量的組合會如何影響強力磁鐵被線圈電磁砲噴出的距離？

（二）研究設計

我的電磁砲設計仿照《佑來了》（2019）用漆包線圈包住粗吸管當作砲管，但是把金屬子彈改成強力磁鐵。我原本的設計是希望強力磁鐵在線圈通電之後穿越吸管，測試之後發現強力磁鐵雖然有動但是距離不長。我在《佑來了》（2019）影片中有看到金屬子彈的類似問題——金屬子彈飛離線圈後會被線圈電磁鐵吸回去。我推測我的強力磁鐵只能飛到吸管中間的原因是：強力磁鐵被線圈入口端的磁極排斥而前進，卻又被線圈出口端的磁極排斥而退回。這個問題即使把強力磁鐵的方向調換也不能解決，因為線圈的兩側極性一定相反。

如果強力磁鐵的一邊與線圈一側同性相斥而被推入線圈之內，強力磁鐵的另一邊也會與線圈另一側同性相斥。針對這個強力磁鐵的兩邊會分別被線圈兩側的磁極互斥而停在吸管中間的問題，我看

了其他的線圈電磁砲的影片和科展作品怎麼處理。我發現大部分的解決方法都是乾脆不直接對線圈供電，而是先對電容充電再讓電容對線圈釋放電能。因為電容具有瞬間放電的性質——磁力在線圈被通電的瞬間把金屬子彈吸進線圈之後就因停電消失，所以金屬子彈會繼續向前噴出而不會被線圈吸回來。但是因為我不想用電容，所以想到了一個解決方法：用通電線圈讓強力磁鐵被排斥而往線圈外噴出，而不是被吸入線圈內。換句話說，在線圈通電前要確認強力磁鐵的極性和線圈尾端極性互斥，而且通電後強力磁鐵往線圈之外噴出（實驗一、二）。

原本的設計是要用手搖發電機來產生電力。因為這樣可以讓玩家操作手搖發電機來比賽誰最先讓強力磁鐵噴到目標高度。但是實際使用手搖發電機（實驗三）後，發現我所能買到的手搖發電機電力太小、轉速也會不穩定，而且還會產生電花有點危險。所以最後就改回使用電池來產生電力。在完成實驗三後，我覺得之前自己手繞的線圈不整齊、縫隙又多。而從專業電子材料行買來的 250 克漆包線圈，它的層數多又繞得整齊，而且這種線圈中心的空心軸比粗吸管還粗。所以我決定再做實驗四：讓整個還沒使用過的漆包線圈當作電磁砲的線圈。初步測試後，發現通電後磁力非常的強——就算強力磁鐵不在線圈內，通電時線圈也會把強力磁鐵快速吸入線圈內。

因為我的目標是能設計出一款簡便，而且能夠容易被複製的線圈電磁砲玩具，所以計畫用電子材料行甚至文具店就可以買到的材料。除了不用電容以外，我也不使用較昂貴的電源供應器，而是 1.5 V×2 的附開關電池盒。在給定的電壓之下，讓電流最大的方法是讓電阻降到最小，而電阻要小的話，漆包線的就要粗。所以我用的漆包線是比較容易買到的漆包線中線徑最大的（1mm）。

(三) 實驗器材

器材名稱、規格與數量	器材圖片及說明
強力磁鐵 (高度 10mm、直徑 8mm)：5 個	當作線圈電磁砲的被發射物。 直徑 8mm 恰好可以在內徑約 11mm 的粗吸管内飛行 (直徑 10mm 的強力磁鐵無法進入粗吸管)。
漆包線 (SWG19、線徑 1.0mm、250g)：約 5 個	實驗一、二、三將原裝漆包線的一頭拉出環繞在粗吸管上。繞出預定的高度 (10 公分) 或匝數、層數後，將漆包線用斜口鉗剪斷。實驗四用整個原裝漆包線當作漆包線圈。

粗塑膠吸管
(內徑 1.1cm、長度 21.5cm): 7 支



內徑約 11mm 的粗吸管恰好可以讓直徑 8mm 的強力磁鐵在內飛行。

電池 1.5V : 4 個



將兩個電池放進一個開關電池盒。

開關電池盒
1.5V×2 : 2 個



電池盒內放入電池後要先把開關切換到關掉的位置。進行讓漆包線圈通電的實驗後要記得再關掉免得耗損電池。

雙頭鱷魚夾導線：2 條	 一條用於將電池盒的一極連接到漆包線圈的一極，另一條用於將電池盒的另一極連接到漆包線圈的另一極。
手搖發電機：1 個	 當作實驗三的電源。將漆包線圈的兩極分別接到手搖發電機的馬達上的兩極。
三用電表：1 個	 在將電池放入電池盒之前要用三用電表檢查電池的電壓是否足夠。

6 吋斜口鉗 1 支、6 吋尖嘴鉗 1 支	 斜口鉗用於剪斷漆包線以及刮除漆包線圈兩端的漆。連接漆包線圈兩端和電源時，用尖嘴鉗固定漆包線。
美工刀：1 支	 用於刮除漆包線圈兩端的漆，才能使線圈接上電源通電。
透明膠帶：1 捲	 在漆包線圈頂端和尾端的吸管外圍用透明膠帶固定漆包線圈—避免線圈鬆掉。另外在實驗四用透明膠帶封住靠近漆包線圈的吸管底部以免強力磁鐵在被噴出前就掉落。

導線：2 條	用於增加電池盒或手搖發電機和線圈的距離——避免強力磁鐵在線圈通電前就被吸出軌道。
---------------	--

（四）實驗：

在進行所有實驗之前，為了讓漆包線圈在接上電源後能通電，所以用美工刀或斜口鉗先刮掉漆包線兩端的絕緣漆。1.5V 電池在使用前要用三用電表檢查電壓是否足夠。

- 1.利用仰角 30 度、60 度、90 度的斜坡，觀察斜坡仰角對於兩個強力磁鐵被線圈電磁炮噴出的距離的影響。實驗架構參見圖 2.4.1，實驗操作設計見圖 2.4.2。

圖 2.4.1

第一階段實驗架構圖

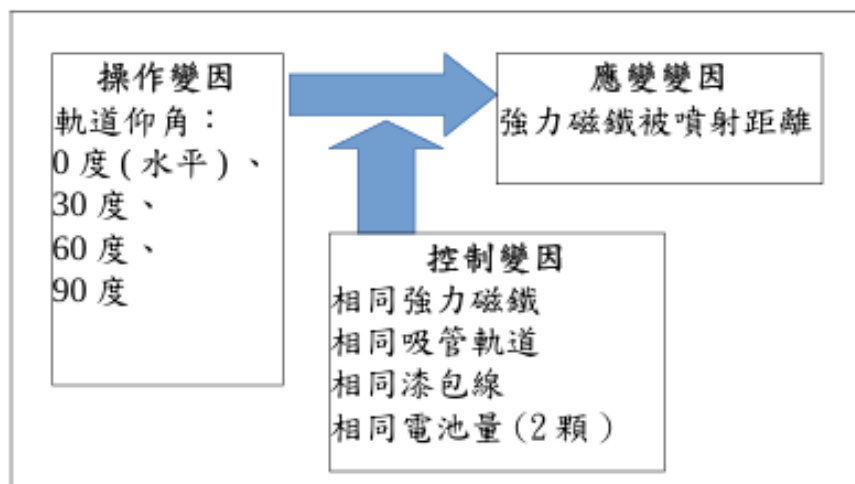
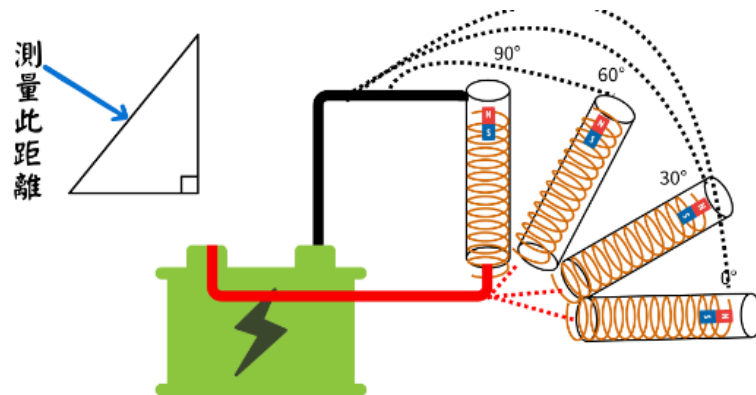


圖 2.4.2

第一階段實驗示意圖



2.我利用不同電池數量、不同線圈層數，觀察電池電力、線圈層數對於強力磁鐵被線圈電磁炮噴出的距離的影響。實驗架構參見圖 2.4.3，實驗操作設計見圖 2.4.4。

圖 2.4.3

第二階段實驗架構圖

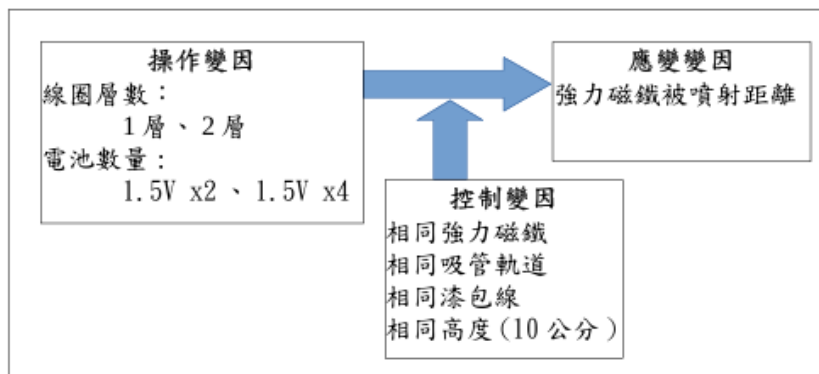
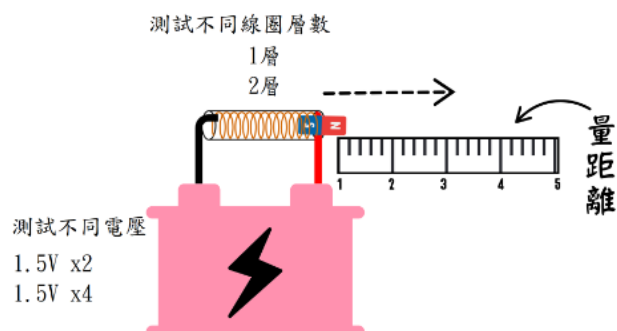


圖 2.4.4

第二階段實驗示意圖



3.利用手搖發電機及線圈層數，觀察手搖發電對於強力磁鐵被線圈電磁炮噴出的距離的影響。因為使用手搖發電機時，覺得電力並不強，我懷疑是單純用手繞的線圈不夠緊密，所以我就用膠帶固定在線圈的一端後，再把漆包線緊靠著膠帶纏繞，最後繞好時再把漆包線圈壓緊後，尾端再用膠帶來固定線圈。實驗架構參見圖 2.4.5，實驗操作設計見圖 2.4.6。

圖 2.4.5

第三階段實驗架構圖

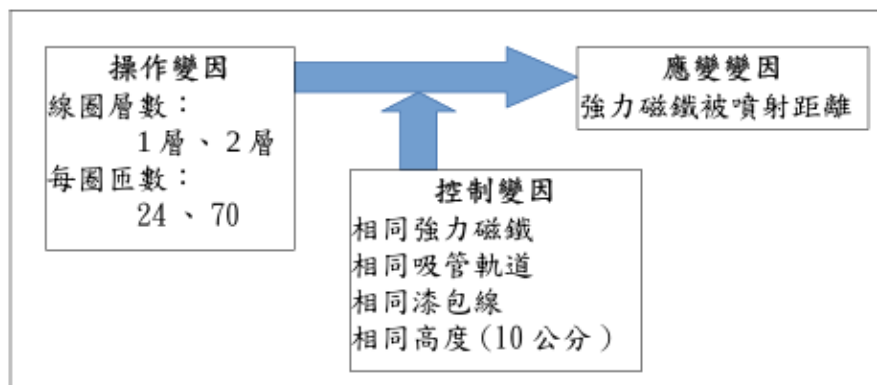


圖 2.4.6

第三階段實驗示意圖



4.利用仰角 30 度、45 度、60 度、90 度的斜坡，觀察斜坡仰角對原本買來已經繞好、整齊的整個 250 克漆包線圈電磁炮噴出的強力磁鐵噴出距離的影響。250 克漆包線圈的兩個線頭有

一端在線圈外圍，可以直接用鱷魚夾夾住；另一端則在空心軸內無法拉出，需要用一般電線來延伸連接電池，以免強力磁鐵吸住鱷魚夾。吸管軌道則封住底部，其作用是固定磁鐵在吸管軌道的出發位置（如圖 2.4.7）。通電前先將放有磁鐵的吸管軌道放到空心軸中，磁鐵頂端與漆包線圈頂端對齊。實驗架構參見圖 2.4.8，實驗操作設計見圖 2.4.9。

圖 2.4.7

封住底部的吸管軌道

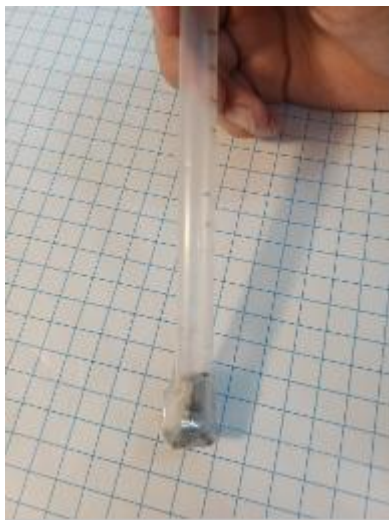


圖 2.4.8

第四階段實驗架構圖

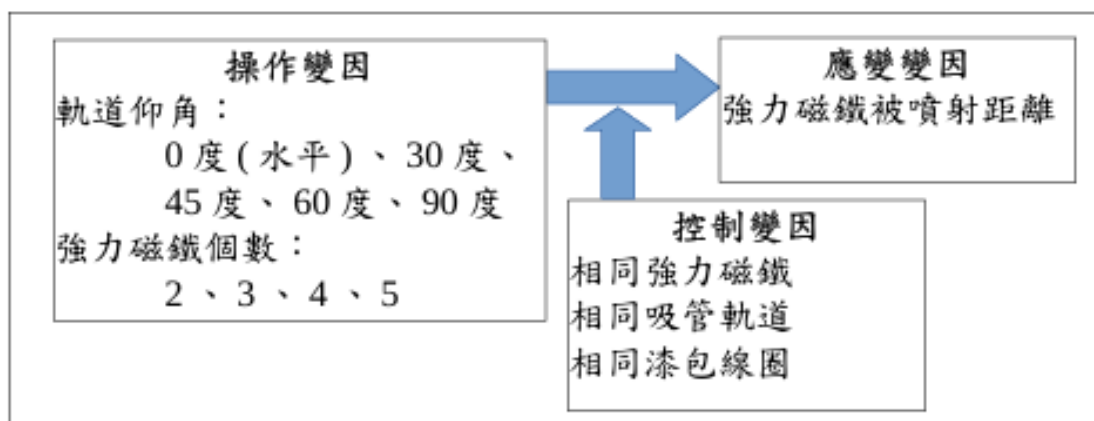
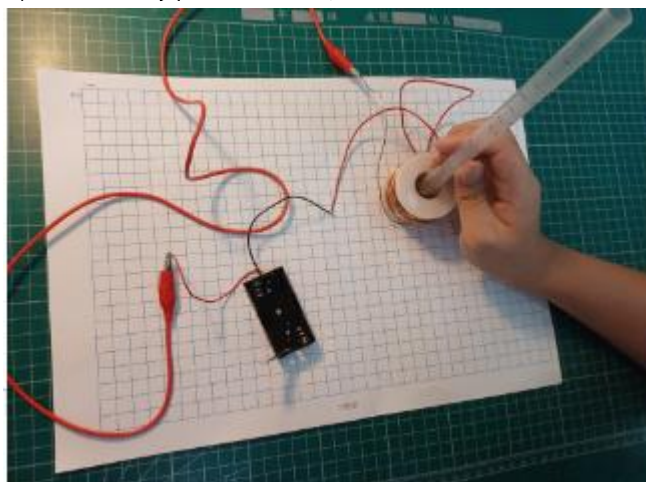


圖 2.4.9

第四階段實驗示意圖



(五) 工作進度表:

	3	4	5	6	7	8	9	10
	月	月	月	月	月	月	月	月
討論主題	○							
搜尋相關資料	○	○	○	○	○	○	○	
準備實驗材料	○	○	○	○	○			
實際操作並記錄		○	○	○	○	○		
彙整實驗結果				○	○	○		
撰寫實驗報告				○	○	○	○	
製作研究投影片							○	○

三、彙整相關文獻

(一) 關於電生磁（電流磁效應）的理論

線圈電磁砲的原理是讓線圈通電產生磁場再利用磁場發射砲彈。這種電流會在通電的導線周圍產生磁場的現象，稱為電流磁效應（均一教育平台，2021a）。而載流螺形線圈導線的磁場方向可以用安培右手定則決定—右手握住螺形線圈導線，大拇指所指的方向就是磁場方向。線圈繞得愈緊密或增加電壓、電流可使磁場強度增加（均一教育平台，2017a）。

（二）一個運用電流磁效應的玩具：簡易電聯車

使用強力磁鐵和電流磁效應的玩具是國立科學工藝博物館科學學習中心（2015）展示的「簡單電動機迷你電車」。這種電車可能最早出現在 AmazingScience（2014），而且有很多種做法或玩法（AmazingScience，2015）。

我在許良榮（2021:145-149）看到他對「簡易電聯車」的詳細解釋。他的電聯車車身是由一個四號乾電池和四個強力磁鐵組成——在乾電池的每一端各吸住兩個強力磁鐵，而且兩端的磁極互斥。把車身放進直徑 1 毫米的銅線線圈，電聯車就會像火車過山洞一樣穿越線圈。這個電聯車會自己前進的原因是強力磁鐵被磁場所推動，而磁場是電流會沿著「電池—強力磁鐵—銅線圈—強力磁鐵—電池」這樣的通路所產生。和線圈電磁砲使用外接電源相比，簡易電聯車的電源來自車身的乾電池。另外，因為車身的強力磁鐵本身就要和山洞線圈在同一個通電的迴路，所以山洞線圈的材料要使用導電的銅線。

（三）關於通電線圈所使用的線材

線圈電磁砲和「簡易電聯車」雖然都用到電流磁效應，但是電磁砲裡面的強力磁鐵並沒有要和線圈形成一個通電的迴路，所以線圈的材料要採用外面絕緣的漆包線。郭彥助、鄧雅文、李靖元（2011）在測試線圈的磁力效果時，一開始使用的是銅線。但他們用磁針測試接上了電池的銅線線圈卻發現完全沒有磁力顯示。根據他們的解釋，互相接觸的銅線之間會傳導電流——要用漆包線才可讓電流在線圈循環前進而產生磁力。

（四）使用金屬當作被發射物的問題

郭彥助、鄧雅文、李靖元（2011）、潘楷彥、曾祥智、侯正浩（2017）和《佑來了》（2019）都是利用漆包線線圈當作電磁砲的動力來源。前兩個科學展覽作品所使用的被發射物是鐵質圓柱體（鐵棒），最後一個科學影片則是金屬子彈。當電流通過漆包線線圈時，線圈的磁場會把被發射物磁化成電磁鐵並吸入砲管。子彈會在砲管

中飛到線圈的另一端時被線圈磁場的另一極端相斥而彈回。為了讓子彈能從砲管另一端噴出，必須讓線圈的電流在通電之後瞬間停止——子彈會依靠慣性前進。他們達成瞬間通電的方法是先把電容充電，再讓電容瞬間放電。而我希望不用電容設計出電磁砲，所以想到改用本身有磁性的強力磁鐵，而且用同極相斥的原理往線圈外發射。

（五）使用強力磁鐵當作被發射物且不用電容的文獻

表 3.1 整理了歷屆科學展覽、資優獨立研究、科學探究比賽以及仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽之中以線圈電磁砲為主題的作品。其中唯一使用強力磁鐵當作電磁砲發射物而且不用電容的是林芷韻（2017）。她發現永久磁鐵距離線圈出口的距離和永久磁鐵受到的推力呈現出鐘形的關係：如果以線圈出口當作前端，則永久磁鐵的起始位置在線圈中間偏後段可以達到最長的發射距離。她另外還混用了軟性磁鐵和永久磁鐵當作被發射物。但是她沒有做發射仰角大於零的實驗。

表 3.1

線圈電磁砲的被發射物與是否使用電容

作者（年份）	作品名稱	被發射物	使用的電容（規格）
葉達謙（2010）	電磁砲	螺絲釘 （1.10cm、 1.70cm）	4400 μ F 到 16550 μ F
郭彥助、鄧雅文、李靖元（2011）	無聲動力——線圈砲的發射分析與應用	圓柱鐵質物	390 μ F 到 10700 μ F
林芷韻（2017）	電磁線圈與磁鐵的愛恨	永久磁鐵、軟磁鐵棒	無

情仇			
潘楷彥、曾祥智、侯正浩 (2017)	電磁砲！真的還假的？	鐵棒（直徑 0.5cm、長 10.387cm）	4700 μ F、9400 μ F、14100 μ F
陳韶寧、楊國睿、林品喬、莊承諺、莊凡毅 (2020)	「磁」母手中線—探討電容放電時間常數對電磁砲發射的影響	圓柱鐵條（直徑 0.9cm、長 3cm）	1mF、2mF、3mF、4mF
曾昭明、林紀周、許績根 (2020)	可程式控制轉向電磁砲	強力磁鐵、螺絲	680 μ F
陳柏宏、吳翰泰 (2023)	小「兵」立大功—可攜式乒乓發射器應用於智慧訓練之研製	強力磁鐵	10000 μ F、6800 μ F、4700 μ F、3300 μ F
愛探險的 Dora (江○達、林○霖、許○翔、陳○璋)(2024a，2024b)	電子控制磁動力精準導引精確打擊系統	影片顯示為金屬棒	10000 μ F、5000 μ F、3500 μ F、1000 μ F
楊東嶧、馮子軒、林秉洋 (2025)	自製基本電磁炮	鐵棒（3、4、5、8、10公分）	10000 μ F、5000 μ F、3500 μ F
黃詩琪、曾湘	為什麼它射	螺絲釘	1000 μ F、

鈴、蕭毓潔 (2025)	的那麼遠 ——電磁 線圈砲	(1.7cm)	1500 μ F、 2200 μ F、4400 μ F
張子晏 (2025)	「電流啪 嚓，子彈一 發」-電磁線 圈炮提升射 程性能之探 討	鋼珠 (1mm、 2mm、 8mm)、迴紋 針	330 μ F

(六) 關於磁生電（電磁感應）的理論

當導線線圈中的磁場發生變化，線圈會產生感應電流的現象稱為電磁感應（均一教育平台，2017b）。而發電機是運用電磁感應把力學能轉化成電能的機器（均一教育平台，2021b）。楊勝銘、林明逸、謝佶宏（2017）利用廢棄光碟機的齒輪和直流馬達改裝成手搖發電機。而羅以安、張鈺右、許書寧（2022）則設計一種了讓跑步者穿戴在手臂上，透過手臂搖擺，使磁鐵來回穿越線圈而發電的裝置，並探討影響發電效能因素。我原本想要自製手搖發電轉盤當作電磁玩具的電源，後來決定使用電子材料行可以買到的現成手搖發電機。

四、研究資料分析

實驗一，是用兩顆 1.5V 的電池串聯，線圈高 10 公分，用仰角 30 度、60 度、90 度的斜坡來觀察軌道仰角角度對於兩個強力磁鐵被線圈電磁砲噴出的距離的影響。表 4.1 是實驗結果。從實驗一的結果可以看出，軌道仰角角度越大，噴射的距離就越短。

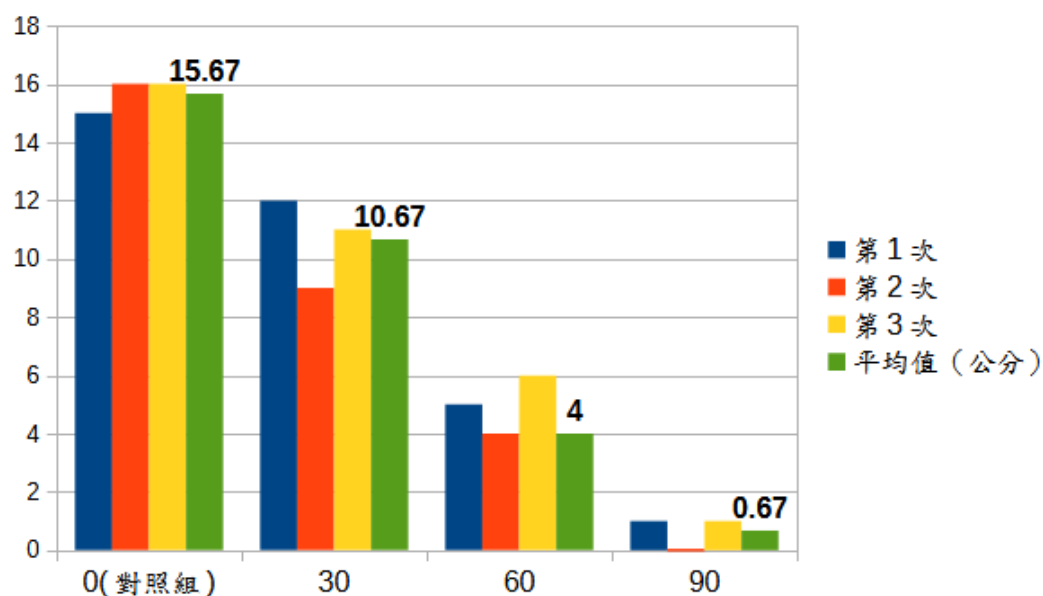
表 4.1

實驗一紀錄表（只比較不同軌道仰角角度可噴射的距離）

電池	線圈高度 度 (公分)	軌道仰角 (度)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值 (公分)
1.5V×2	10	0 (對照組)	15	16	16	15.67
1.5V×2	10	30	12	9	11	10.67
1.5V×2	10	60	5	4	6	4
1.5V×2	10	90	1	0	1	0.67

圖 4.1

仰角與噴出距離關係圖



實驗二，是用兩顆及四顆 1.5V 的電池串聯，線圈高 10 公分，用單層和兩層的線圈來觀察：電力和線圈層數對於強力磁鐵被線圈電磁砲噴出的距離的影響。實驗二的結果紀錄在表 4.2。

表 4.2

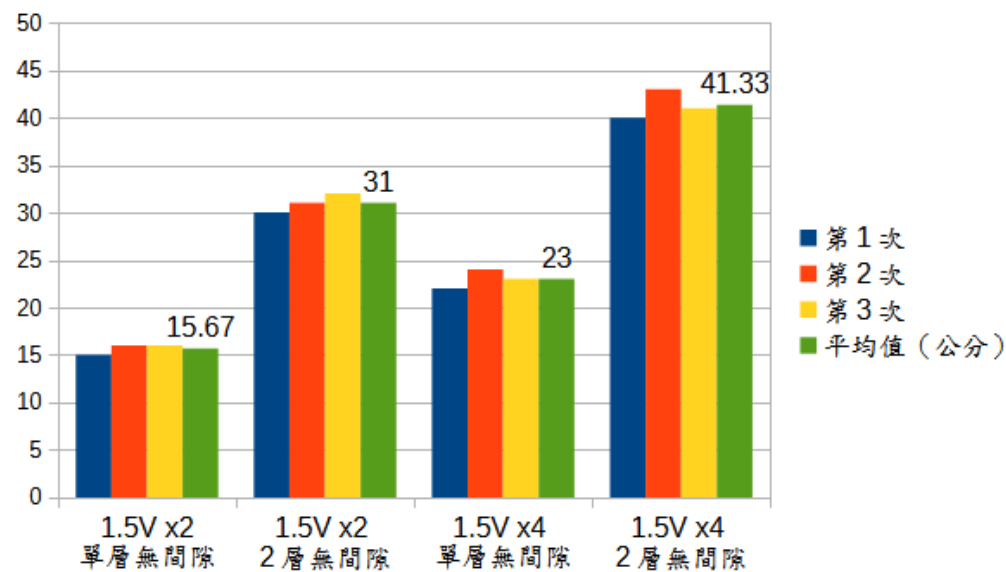
實驗二紀錄表（不同電力與線圈層數對噴出距離的影響－線圈高度 10 公分）

電池／線圈層數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值（公分）
1.5V×2／單層無間隙	15	16	16	15.67
1.5V×2／2 層無間隙	30	31	32	31
1.5V×4／單層無間隙	22	24	23	23
1.5V×4／2 層無間隙	40	43	41	41.33

依據表 4.2 可以畫出圖 4.2。從圖 4.2 可以看出，電力越強、層數越多，噴射的距離就越長。從實驗中發現另一個有趣的比較，就是把線圈層數與電池數量這兩個操作變因的其中之一固定，而看另一個操作變因加倍對噴出距離所造成的影響。兩個電池時，2 層線圈的噴出距離是單層線圈時的 2 倍；四個電池時，2 層線圈的噴出距離是單層線圈時的 1.8 倍；在單層線圈時，四個電池的噴出距離是兩個電池時的 1.5 倍；在 2 層線圈時，四個電池的噴出距離是兩個電池時的 1.33 倍。平均起來，線圈層數加倍使噴出距離變大的倍數多於電池數量加倍使噴出距離變大的倍數。

圖 4.2

電池數、線圈層數與噴出距離關係圖



實驗三，是用手搖發電，線圈高 10 公分，用 1 層、3 層和 5 層的線圈來觀察手搖發電和線圈層數對於強力磁鐵被線圈電磁砲噴出的距離的影響。用 1 層、3 層和 5 層的原因，是在做只有一層線圈時發現磁鐵噴出的距離很短，所以第二次改用三層線圈，但是磁鐵噴出的距離還是很短，就直接跳到五層線圈，但結果磁鐵噴出的距離卻比實驗二的單層線圈還短。另外，線圈一層時，線圈匝數 24 的噴出距離反而大於匝數 70 的。實驗結果紀錄在表 4.3，圖示在圖 4.3。

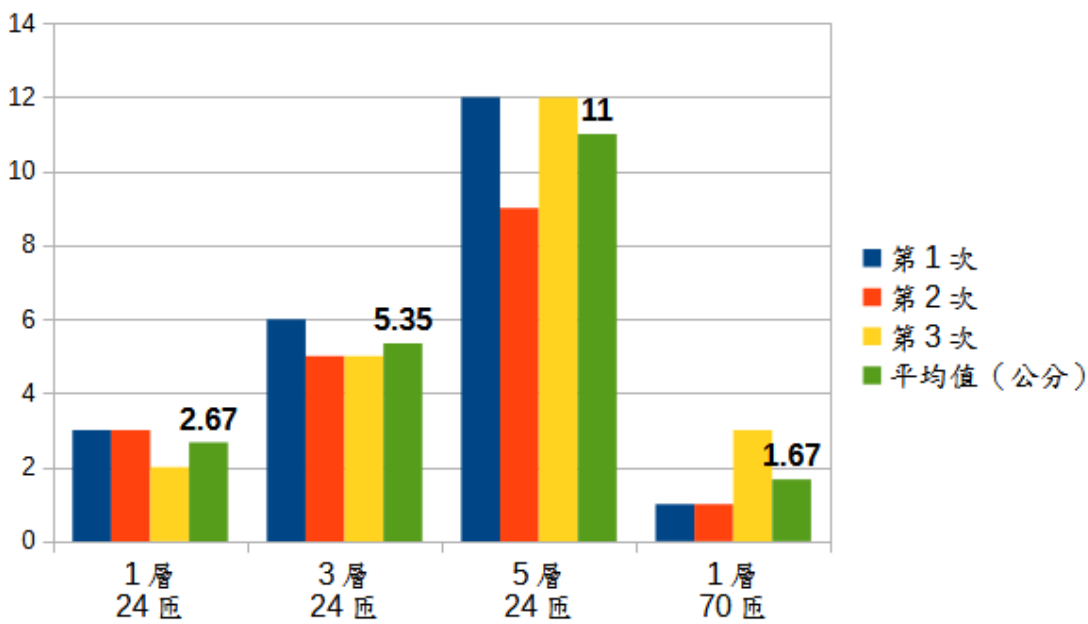
表 4.3

實驗三紀錄表（使用手搖發電觀察線圈層數對噴出距離的影響）

每層匝數／線圈層數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值（公分）
24 匝／1 層	3	3	2	2.67
24 匝／3 層	6	5	5	5.35
24 匝／5 層	12	9	12	11
70 匝／1 層	1	1	3	1.67

圖 4.3

線圈層數、每層匝數與手搖發電電磁砲噴出距離關係圖



實驗四，是用兩顆 1.5V 的電池串聯，線圈用從專業電子材料行買到已經繞好、層數又多且整齊的漆包線圈（規格 SWG 19 號、直徑 1mm、250 克），觀察磁鐵數量和軌道仰角角度對於強力磁鐵被線圈電磁砲噴出的距離的影響。表 4.4 是實驗數據的紀錄，表 4.5 彙整了每一個仰角、每一個磁鐵個數的噴出距離平均值。圖 4.4 則是用表 4.5 的資料畫出的折線圖。

從圖 4.4 可以看出，軌道仰角是 30 度時，不同數量磁鐵的噴出的距離在 15 公分到 17 公分之間；軌道仰角是 45 度、60 度與 90 度時，噴出的距離在差異就比較大。另外，磁鐵數量越多，噴出的距離不一定就越長。

表 4.4

實驗四紀錄表（觀察磁鐵數量與軌道仰角對噴出距離的影響）

軌道仰角（度）	磁鐵個數	第 1 次	第 2 次	第 3 次
30	2	15	14	16
45	2	12	12	11

60	2	10	11	12
90	2	9	9	8
30	3	16	17	16
45	3	11	12	11
60	3	13	12	14
90	3	10	10	11
30	4	16	17	16
45	4	14	15	14
60	4	14	15	16
90	4	12	13	13
30	5	17	16	17
45	5	13	13	13
60	5	11	11	11
90	5	13	13	11

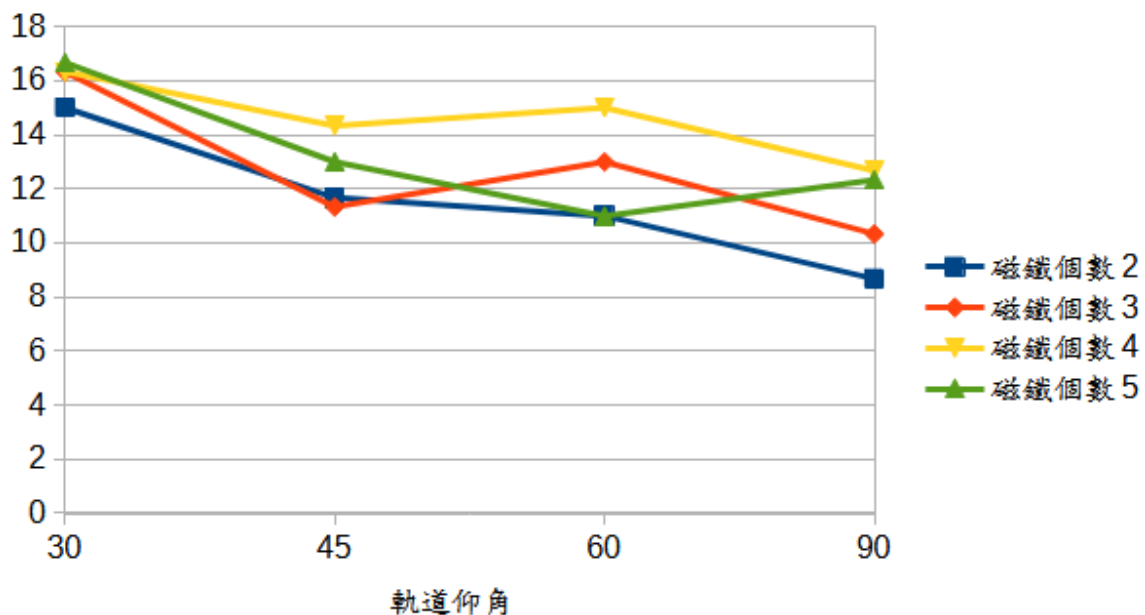
表 4.5

實驗四彙整表（磁鐵數量、軌道仰角與平均噴出距離的關係）

軌道仰角 (度)	噴出距離平均值（公分）			
	磁鐵個數	磁鐵個數	磁鐵個數	磁鐵個數
	2	3	4	5
30	15	16.33	16.33	16.67
45	11.67	11.33	14.33	13
60	11	13	15	11
90	8.67	10.33	12.67	12.33

圖 4.4

軌道仰角、磁鐵數量與電磁砲噴出距離關係圖



五、研究結果與討論

- (一) 目前絕大多數科學展覽和科學影片中的線圈電磁砲發射物是導磁性金屬做的，必須瞬間通電，要使用電容。我使用強力磁鐵，一通電就可被發射。就算持續通電也可以不被吸回線圈內。
- (二) 從實驗二的結果可以發現，雖然線圈層數與電池數量的增加都會讓噴出距離上升，但是線圈層數加倍使噴出距離變大的倍數多於電池數量加倍使噴出距離變大的倍數。
- (三) 在實驗三中使用五層線圈所噴出強力磁鐵的距離卻比實驗二的單層線圈噴出的距離還短，故推測手搖發電的電力不如電池。
- (四) 在實驗三中使用一層線圈時，線圈匝數 24 的噴出距離反而大於匝數 70 的。推測原因是：手搖的轉速會影響手搖發電機的電力大小，而人用手搖動轉柄的速度並不穩定，所以電力也不穩定。
- (五) 比較實驗一與實驗四的結果，同樣用兩個強力磁鐵，軌道仰

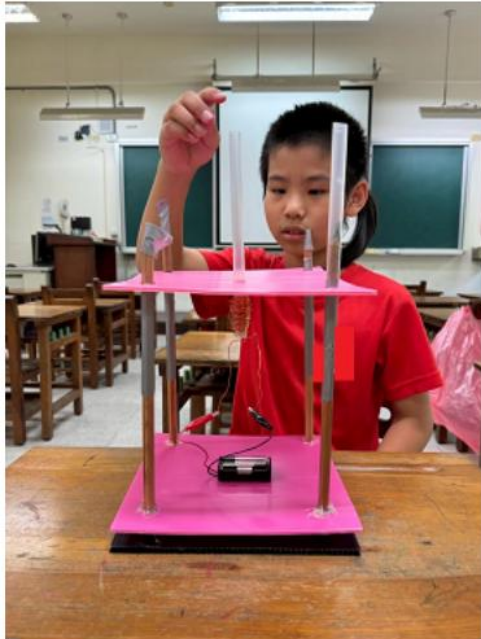
角一樣是 30 度、60 與 90 度時，實驗四的噴出距離比實驗一要多很多。推測是因為買來的 250 克的完整漆包線圈層數很多，所以線圈層數對於線圈電磁炮噴出距離影響很大。

(六) 由實驗四發現磁鐵數量越多，噴出的距離不一定就越長，推測是因為磁鐵數量越多，重量越重可能就受到重力的影響，無法噴出較遠的距離。

(七) 我本來是要用線圈電磁砲做一個往上爬的搶孤遊戲。圖 5.1 是我用垂直線圈電磁砲、粗鉛筆、粗吸管和瓦稜板搭建的孤棚。可是實驗一發現垂直噴出的距離超短，而且不能持續往上爬。另外，買到的手搖發電機能發出的電也很小。在完成實驗四之後我想到可以做一個不一樣的電磁砲遊戲玩具，就是用電磁砲爬階梯。實驗四發現：使用 15Vx2 的電池，在各個仰角下的噴出距離大多比 10 公分長。所以把當軌道用的粗吸管剪成 10 公分或更短，強力磁鐵就會飛出軌道砲管之外。遊戲時，讓每個玩家從階梯最底層（第 0 階）開始用線圈電磁砲往階梯的更高一層（第 1 階）發射強力磁鐵。只有成功射上第 1 階的玩家才可以繼續挑戰第 2 階。最先把強力磁鐵射到目標階層的玩家獲勝。在這個過程中，玩家自己調整砲管角度並且挑選強力磁鐵數目。因為實驗四發現強力磁鐵的個數對噴出距離的影響在每一個仰角之下可能正也可能負，所以玩家要自己嘗試才能找出最佳的強力磁鐵個數。這過程可以增加遊戲的趣味性。另一個可以更增加趣味的設計，是規定玩家必須把所有強力磁鐵（例如五或十個）都射到目標階層才算完成遊戲，所以玩家會面臨一次發射多一些磁鐵但不一定能射達更高一層或者射少一些磁鐵但要發射更多次的抉擇。

圖 5.1

線圈電磁砲孤棚



六、評鑑與檢討：針對上述每一階段進行省思與收穫

(一) 研究動機：

我本來的動機是想要參考線圈電磁砲的科學影片做一個有趣的玩具。可是後來做實驗很麻煩也不順利，讓我逐漸失去興趣。如果我當初看更多別人的研究，也許我就不想做了，但也許我會有別的設計的想法。

(二) 擬定計畫、研究問題及工作進度表：

1. 名稱擬定：

我本來想用「搶孤」當作名稱。但是後來發現用線圈電磁砲直向上發射強力磁鐵只能噴很短的距離，而且不能讓強力磁鐵持續往上爬。我能買到的小手搖發電機能發的電也很小。後來想到：雖然不能做搶孤玩具，還是用實驗的結果設計出一個用電磁砲讓強力磁鐵爬樓梯的遊戲。和絕大多數線圈電磁砲的設計不同，在於我的設計不用電容，所以最後決定用「不用電容的線圈電磁砲玩具」當作名稱。

2. 研究問題：

回顧我提出的四個研究問題，好像只是驗證理論上很直覺的因果關係。但是如果從設計玩具的角度來看，這四個研究問題剛好就是最後遊戲和玩具可以運作所要解決的問題。

3. 擬定計畫和工作進度表：

雖然中間進行實驗有遇到困難和改變設計，但是最後還是大概按照工作進度表完成研究。

（三）彙整相關文獻：

我本來用網路搜尋線圈電磁砲的相關文獻時沒有看到林芷韻（2017）、曾昭明、林紀周、許績根（2020）和陳柏宏、吳翰泰（2023）的科展作品，所以我以為我的線圈電磁砲是第一個使用強力磁鐵當作電磁砲發射物。在完成我的四個實驗之後再比較我的設計和這三個研究的不同，我發現只有林芷韻（2017）是使用強力磁鐵當作電磁砲發射物而且不用電容的作品。但是我又比她的作品多了把砲管往上而不只是水平射擊。另外在查閱文獻的過程中，我發現除了可以在國立科學教育館的網站上看到歷屆科學展覽作品之外，還可以在其他網站下載查到科學探究比賽、仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽以及一些縣市資優獨立研究的歷屆作品和影片。所以我以後可以從這些網站學習其他科學實驗前輩的經驗。

（四）資料分析：

實驗中有時會遇到實驗的結果沒有呈現一致的規律，像是實驗四強力磁鐵個數對噴出距離的影響。我一開始有些懷疑自己是不是哪裡有做錯。後來想到：操作變因對於應變變因的影響，本來就有可能不是一直同一個方向。例如強力磁鐵個數增加時，磁力和重力都會增加。所以在某些條件之下，磁力上升超過重力上升，而其他條件之下則相反。

（五）研究結果與討論：

這次的獨立研究，我做出一個使用強力磁鐵而免除使用電容的線圈電磁砲。而且這個線圈電磁砲可以用來玩爬階梯的遊戲。

因為我的設計很簡單而且只需要市面上很容易買到又不昂貴的材料，所以有興趣的人可以按照我的設計很快做出來玩。雖然我還可以參考別人的研究繼續改進我的設計，但是我現在的設計應該就可以讓很多人透過遊戲開心的學到電流磁效應。

七、參考資料

均一教育平台（2017a，7 月 26 日）。**B4C2 2 4 螺形線圈電流磁效應**〔影片〕。YouTube。

<https://www.youtube.com/watch?v=C3V78MOpTWQ>

均一教育平台（2017b，7 月 31 日）。**B4C2 4 3 電磁感應**〔影片〕。

YouTube。 <https://www.youtube.com/watch?v=rkAa6febRRA>

均一教育平台（2021a，1 月 18 日）。**2-3 電流磁效應**〔影片〕。

YouTube。 https://www.youtube.com/watch?v=RIz9QB_aAsU

均一教育平台（2021b，1 月 19 日）。**2-10 發電機原理**〔影片〕。

YouTube。 <https://www.youtube.com/watch?v=IGM32IRXr-A>

佑來了（2019，8 月 22 日）。**【Fun 科學】超·電磁砲(噴飛的硬幣)**〔影片〕。YouTube。

<https://www.youtube.com/watch?v=sKcblM1ayts>

林芷韻（2017）。**電磁線圈與磁鐵的愛恨情仇**。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030112.pdf>

林正芳（2020，8 月）。搶孤復辦簡史。蘭博電子報，第 119 期。

<https://www.lym.gov.tw/ch/collection/epaper/epaper-detail/dc7093c7-c257-11ea-94d3-2760f1289ae7/>

官宏銘、楊文棟、龔宗穎（2010）。**腳踏車環保發電儲電裝置**。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030802.pdf>

張子晏（2025）。「電流啪嚓，子彈一發」－電磁線圈炮提升射程性能之探討。新北市 113 學年度國小一般智能資優學生獨立研究

研討會。

<https://gifted.ntpc.edu.tw/AYFiles/114//NewsEventFile/18196/113> 淡水國小 自然類 「電流啪嚓，子彈一發」 電磁線圈炮提升射程性能之探討.pdf

郭彥助、鄧雅文、李靖元（2011）。無聲動力—線圈砲的發射分析與應用。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030111.pdf>

國立科學工藝博物館科學學習中心（2015，10 月 29 日）。3 簡單電動機 迷你電車〔影片〕。YouTube。

<https://www.youtube.com/watch?v=nhRJ7glRDT4>

清大普物實驗室戴明鳳 NthuGplab（2016，6 月 21 日）。手動發電機〔影片〕。YouTube。

<https://www.youtube.com/watch?v=c6cXUUsheDU>

許良榮（2021）。玩出創意 4：55 個玩悅科學實驗。小五南。

陳柏宏、吳翰泰（2023）。小「兵」立大功—可攜式乒乓發射器應用於智慧訓練之研製。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會作品說明書。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/63/pdf/NPHSF2023-032814.pdf>

陳韶寧、楊國睿、林品喬、莊承諺、莊凡毅（2020）。「磁」母手中線—探討電容放電時間常數對電磁砲發射的影響。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-080102.pdf>

彭瑞麟（1931-1933）。[宜蘭頭城中元祭之前]〔照片〕。《數位典藏與數位學習聯合目錄》。

<http://catalog.digitalarchives.tw/item/00/5a/ec/56.html>

曾昭明、林紀周、許績根（2020）。可程式控制轉向電磁砲。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020->

052301.pdf

黃詩琪、曾湘鈴、蕭毓潔（2025）。為什麼它射的那麼遠—電磁線圈砲。2025 科學探究競賽成果報告。

<https://sciexplore.colife.org.tw/work/2025/C0245/pdf>

愛探險的 Dora（江○達、林○霖、許○翔、陳○璋）（2024a）。電子控制磁動力精準導引精確打擊系統。2024 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽決賽構想說明。

<https://phys5.ncue.edu.tw/2024science/word/202405.pdf>

愛探險的 Dora（江○達、林○霖、許○翔、陳○璋）（2024b）。電子控制磁動力精準導引精確打擊系統。2024 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽決賽影片。

<https://phys5.ncue.edu.tw/2024science/2024videos/013.mov>

楊東嶧、馮子軒、林秉洋（2025）。自製基本電磁炮。2025 科學探究競賽成果報告。

<https://sciexplore.colife.org.tw/work/2025/B0126/pdf>

楊勝銘、林明逸、謝佑宏（2017）。我的行動電源免充電。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=7066&sid=13627>

葉達謙（2010）。電磁砲。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/040111.pdf>

潘楷彥、曾祥智、侯正浩（2017）。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。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=12949&sid=13683>

羅以安、張鈺右、許書寧（2022 年）。磁入電出一手擺發電應用在緊急充電效能之探討。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-080113.pdf>

AmazingScience (2014 , 8 月 26 日) 。 **World's Simplest Electric Train** [影片] 。 YouTube 。

<https://www.youtube.com/watch?v=J9b0J29OzAU>

AmazingScience (2015 , 6 月 4 日) 。 **How to make Simplest Electromagnetic Train** [影片] 。 YouTube 。

<https://www.youtube.com/watch?v=IXeXcbvBPJw>