

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

佳作

081511

誰比我更容易---挑戰極簡馬達

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者： 小五 呂宜潔 小五 于欣	指導老師： 謝邦基
------------------------	--------------

關鍵詞：磁鐵、馬達

壹、摘要



在學校的科學玩具研習社團中，我們曾學過以線圈纏繞製成的簡易馬達，如圖，但我們自己製作的過程中，發現不僅費時，連學校老師都失敗好幾次。於是我們嘗試尋找其他更簡便的自製馬達，能夠方便攜帶與即時組裝。最後，我們在網路上【參考資料(1)】找到一種名為「法拉第馬達—Faraday Motor」的資料，它的外觀不僅簡單、新奇，拆裝更是方便；在克服了其中強力磁鐵的收集後，我們花不到一分鐘組裝完成然後讓它動起來，看過的人都大呼驚奇。

我們在整個研究的過程中，製作了「**極簡馬達模型**」，方便測定轉速、更換零件與觀察轉動。此外，利用實驗所產生的結果，我們發展出自製的『**磁力軌道車**』玩具，並進一步延伸應用在「**磁電再生能源車**」。

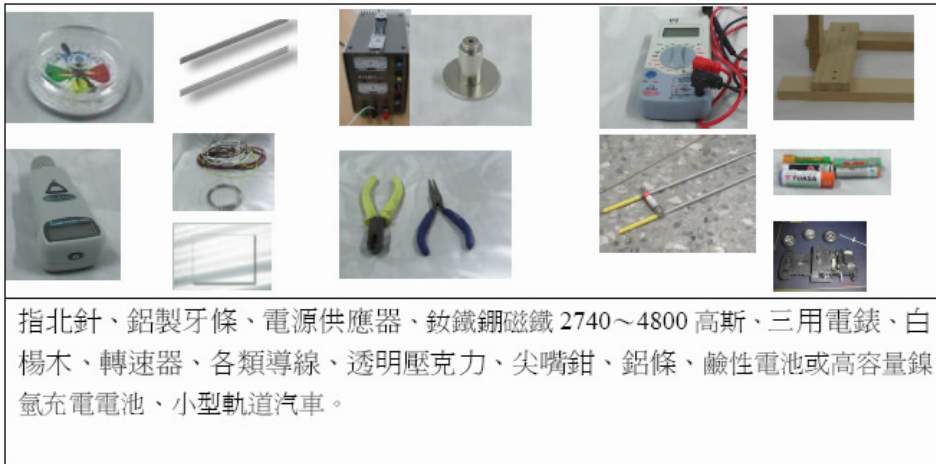
貳、研究動機

每次看到馬達轉動，就覺得神奇，拆開內部構造，卻又難以理解；所以我們利用網路搜尋到的畫面，去製作「史上最簡單的直流電動馬達」；聽老師說，馬達這東西在往後求學都會陸續接觸到，我們製作的東西，到時都可以拿起來與理論對照說明，增強對馬達運轉現象的觀察。

參、研究目的

1. 依樣畫葫蘆，組裝第一個法拉第馬達。
2. 自行設計極簡馬達實驗模型。
3. 討論 導線對磁鐵不同的「接觸點」，對磁鐵轉動的影響。
4. 討論 「不同磁場」的磁鐵，對磁鐵本身轉動的影響。
5. 討論 通過磁鐵的「電流」改變時，對磁鐵轉動的影響。
6. 討論 通過磁鐵的「電壓」改變時，對磁鐵轉動的影響。
7. 討論 「磁鐵重量」對磁鐵轉動的影響。
8. 受法拉第馬達的啟發，製作「磁鐵軌道車」。
9. 磁鐵要怎麼接，「磁鐵軌道車」才會轉動？
10. 完成「磁鐵軌道車」進化版。
11. 「磁鐵輪軸」用在發電的可能性
12. 「磁電再生能源車」的可能性。

肆、研究器材



伍、研究過程與方法

研究一：依樣畫葫蘆，組裝第一個法拉第馬達。

(一) 發現「法拉第馬達」資料的歷程。

- 1.先以「馬達」關鍵字做搜尋，但多為傳統馬達的資料，改用「motor」做搜尋，但多為英文資料。
- 2.老師請我們以「motor」關鍵字做搜尋，但改為點選 Google 上方的「圖片」做搜尋，結果發現一件奇怪的組合（圖右，本實驗拍攝）。
- 3.經老師協助，追蹤圖片網址，得知這是名為「Faraday Motor」的馬達。



(二) 收集圖片中的可能材料。

- 1.電池：網路照片中使用的是規格 AA 的金頂鹼性電池，它可以維持較久的時間，也可以利用並聯與串聯的特性，改變電壓與電。
- 2.導線：只要不被磁鐵吸住的電線就可以，太細的導線要注意耐熱問題，因為高熱會使漆包線外皮融化。
- 3.鐵釘（或螺絲釘）：鐵釘（或螺絲）的頭部要扁平狀，越大越好，以免高速轉動下磁鐵與螺絲釘分解脫落。
- 4.磁鐵：磁鐵的種類繁多，我們發覺多數的磁鐵磁力都無法連同鐵釘倒掛在電池上，只有「釹鐵錒磁鐵」可以做到。我們將收集到的磁鐵資料整理如下表。

釹磁鐵	表面磁場強度為 170-200mT
一般磁鐵	600 到 800 高斯
釹鐵錒磁鐵	一般為 3000 高斯以上

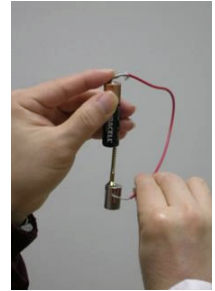
釹磁鐵 一般磁鐵 釹鐵錒

170-200mT 600-800 高斯 3810-4800 高斯

(三) 組裝與運轉。

經過測試，我們利用下面材料，輕易在一分鐘內，完成手持式法拉第馬達的組裝，並運轉啓動。

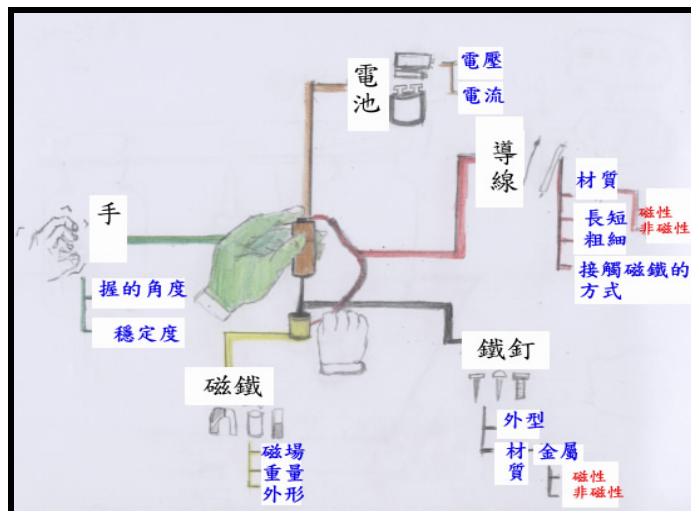
1. 電池： AA 的金頂鹼性電池。
2. 導線： 漆包細銅線。
3. 鐵釘： 長 4 公分、直徑 1 公分扁頭螺絲
4. 磁鐵： 重量 20.75 公克 直徑 13.54mm 高度 17.9mm 磁場 4800 高斯的圓柱形鈹鐵銅磁鐵。



研究二：自行設計極簡馬達實驗模型。

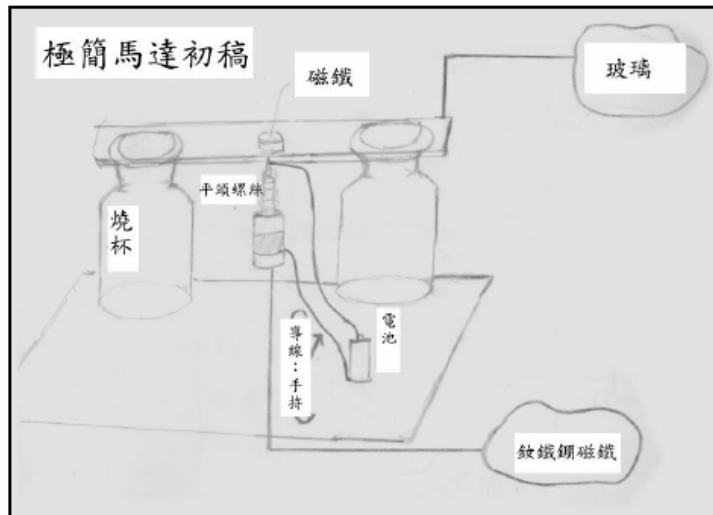
(一) 畫出實驗因素分析圖：

我們透過小組腦力激盪後，畫出實驗的材料與可能影響轉動的因素，如下圖。首先，我們想要解決下圖中，「手部」所造成的實驗誤差。



(二) 如何克服手持實驗造成的誤差與不便？

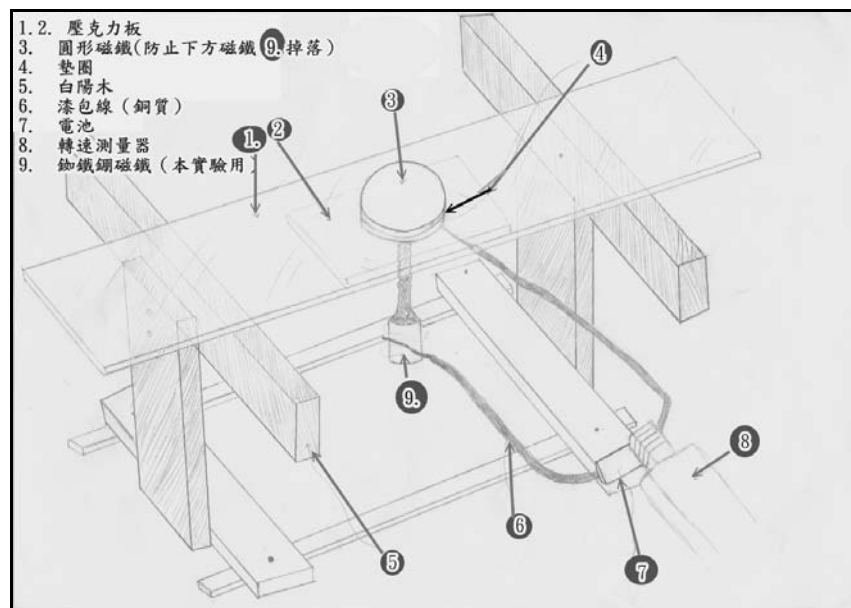
1. 本實驗以手持電池做實驗，利用轉速器測速時，會形成人為誤差
 - 我們的想法：利用支架代替人手，防止晃動
2. 本實驗在改變「電壓」、「電流」因素時，非常不便。
 - 我們的想法：將電源與導線，設計成外接方式。
3. 將上面兩點想法加以改良，我們設計了下圖的模型（圖一）。



圖一、實驗模型初稿


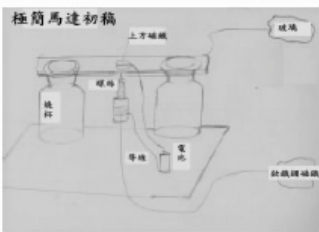
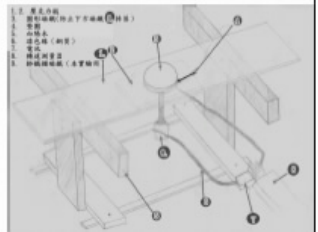


(三) 實驗模型的演進

1. 針對圖一實驗模型，在實驗幾次後提出缺點與改進想法。
缺點：玻璃易碎。改進：將玻璃燒杯改為白楊木，上方強化玻璃改為壓克力板。
2. 針對初稿修正了支架材質部份，我們將下面草圖模型命名為 **SM(Simplest Motor)1** 號，中文名為 **極簡馬達**。



圖二、SM-1 號實驗模型草圖

- (1) 實驗的轉速高達兩三千轉，加上雷射測轉速器很靈敏，故須以腳架固定轉速器。
- (2) 在高速轉動下，因為導線要持續與螺絲、磁鐵接觸，所以碰觸螺絲釘末端尖尖的部份，很容易讓磁鐵與螺絲偏移，所以我們將螺絲釘末端，以鋁箔片接觸，模型命名為 **SM-2** 號。此外，我們也在底端加上一個小型鉍鐵錒磁鐵，吸引轉動中的磁鐵並減少晃動。

手動實驗 →	模型初稿 →	SM-1 號 →	SM-2 號 →	簡圖
				

圖三、實驗模型演進過程

(四) 標準化實驗流程

我們在每個實驗過程中，加上預備動作與後續動作，以便讓我們的每個實驗盡量一致化，降低實驗間的差異。

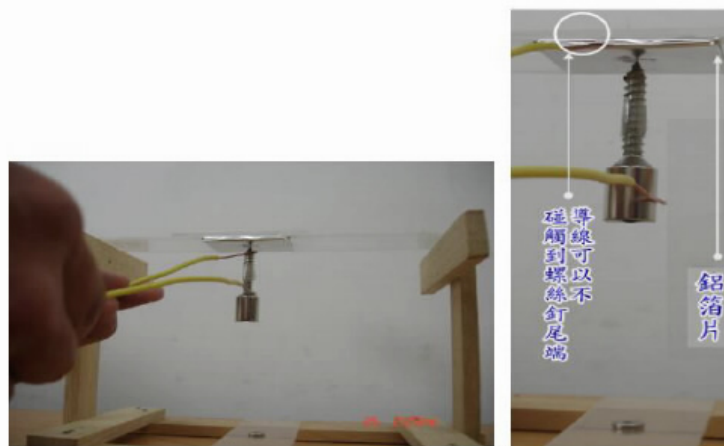
『預備動作』：

- 儀器擺放時，先檢查螺絲頭是否放在磁鐵的圓心上，如圖四，防止通電後高速轉動造成晃動，再將 SM-2 號準備好 如圖五。



圖四、螺絲頭與磁鐵南北極接觸位置

- 清理好周遭事務，防微風吹襲，造成模型搖晃。
- 轉速器因為非常靈敏，所以必須使用支架固定。
- 將充電電池或鹼性電池充電完畢，準備好
- 準備好紙筆，紀錄實驗狀況。
- 準備好相機，準備攝影。



圖五、SM-2 號 實驗模型

『後續動作』：

- 接著紀錄實驗過程與數據。

綜合上述，可以將每次實驗步驟表示如下：

先進行預備動作 → 操縱變因，進行實驗 → 檢查實驗器具是否異常，若有則重新開始，若無則進行下一個步驟 → 進行後續動作 → 結束

研究三、探討導線在磁鐵不同的「接觸點」下，對磁鐵轉動的影響。

實驗初期，我們發現導線與磁鐵的接觸方式，會影響磁鐵轉動與否。

圖六中，表示磁鐵連接螺絲釘視為一個錐形磁鐵，我們將它分為四個部位。

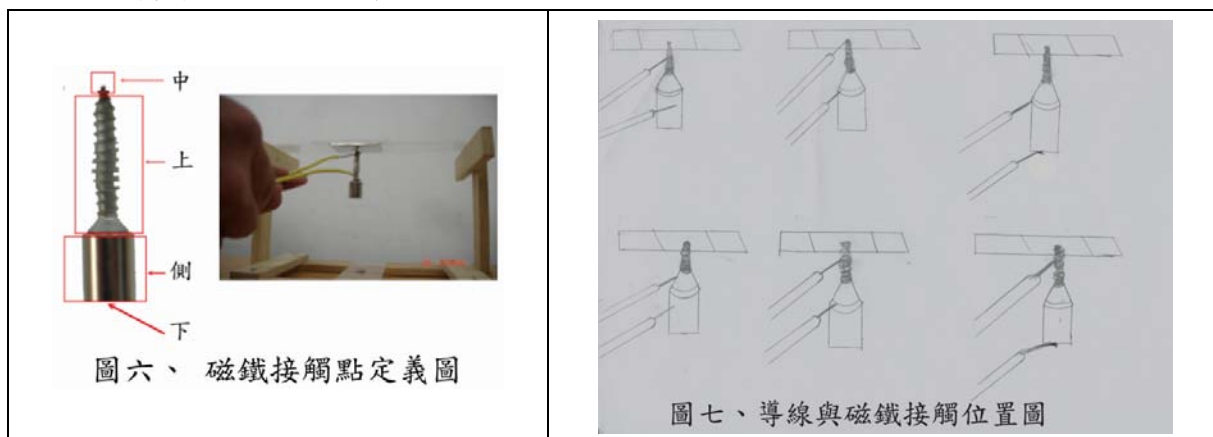
中：表示螺絲釘最頂端，我們稱它為「中」。

上：表示從螺絲頭一直到接近螺絲釘頂端但不含頂端的地方。

側：表示圓柱磁鐵的側面。

下：表示圓柱磁鐵的正下方。

將所有接觸點以圖七表示。



實驗方法：使用一顆全新的 AA 金頂鹼性電池，將銅線接觸在磁鐵的不同部位，共有六個不同的接觸方式（圖七）。

實驗步驟：

- (1) 先準備好下列材料：
 - 甲、金頂鹼性 AA 全新電池
 - 乙、直徑 1.3mm 銅線
 - 丙、大顆釹鐵硼磁鐵（重量：20.75g、直徑：13.54mm、高度：17.9mm、磁場：4800 高斯）
 - 丁、反光貼紙
- (2) 進行預備動作
- (3) 對電池進行電壓、電流檢測，確保實驗電池保持在全新狀態（1.54 伏特、3.0 安培），若沒有則更換新電池。
- (4) 進行後續動作。

我們將實驗的轉動狀況，記錄成下表：

表四、磁鐵與導線間不同接觸點的轉速變化

編號	接觸點	轉動狀況	電池電流	電池電壓	最高轉速 RPM
1	中--側	轉動	3.0 安培	1.54 伏特	2820
2	中--上	無	3.0 安培	1.54 伏特	0
3	中--下	無	3.0 安培	1.54 伏特	0
4	上--側	斷斷續續，幾乎不動	3.0 安培	1.54 伏特	450
5	上--下	無	3.0 安培	1.54 伏特	0
6	側--下	斷斷續續，幾乎不動	3.0 安培	1.54 伏特	279

研究四、探討不同磁場大小下，對磁鐵轉動的影響。

由上一個實驗得知，導線與磁鐵接觸的位置，必須在螺絲釘頂端與磁鐵的側面位置，這個位置我們往後統一簡稱為「正確位置」。

在做磁鐵測試時，我們心中早就想：「磁力到底要到多大，才能讓通過磁鐵的電流與它之間產生轉動」？我們向賣磁鐵的老闆詢問「釹鐵硼磁鐵的磁力」約為多少？老闆利用儀器一測，隨便一顆磁鐵都有 3000 高斯以上的磁場。所以我們請老闆現場幫我們充磁，分別充了五顆外觀重量一樣、但是磁場不同的釹鐵硼磁鐵，它們的磁場從 870 高斯 到 3790 高斯不等。我們在它上面貼上貼紙 如下圖八。



圖八、外觀、重量、材質相同，但磁場不同的釹鐵硼磁鐵。

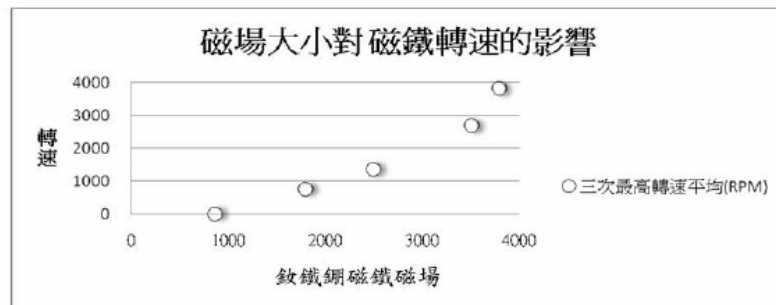
實驗方法：我們以 AA 鹼性電池，讓導線接觸螺絲釘尾端與磁鐵側面之間的「正確位置」，對相同外觀、材質 而磁場不同的磁鐵 反覆進行實驗。

實驗步驟：

- (1) 先準備好下列材料：
 - 甲、電壓在 1.4 伏特、電流在 2.8 安培的 AA 勁量鹼性電池數顆
 - 乙、直徑 1.3mm 銅線
 - 丙、小顆的釹鐵硼磁鐵（重量 13.5 公克、直徑 15.6mm、高度 10.26mm，磁場從 870 高斯到 3790 高斯）
 - 丁、反光貼紙
- (2) 進行預備動作
- (3) 檢查電池是否維持在電壓 1.4 伏特、電流 2.8 安培左右，若沒有則更換電池。
- (4) 進行後續動作。
- (5) 更換不同磁場大小的釹鐵硼磁鐵

表五、不同磁場大小的釹鐵鋁磁鐵，對本身轉速的影響

編號	磁場 (高斯)	電池電壓 (伏特)	電池電流 (安培)	第一次最 高轉速 (RPM)	第二次最 高轉速 (RPM)	第三次最 高轉速 (RPM)	三次最高 轉速平均 (RPM)
1	3790	1.4	2.8	3799	3790	3790	3793
2	3510	1.4	2.8	2670	2660	2660	2663
3	2500	1.4	2.8	1350	1350	1345	1348
4	1800	1.4	2.8	770	750	730	750
5	870	1.4	2.8	0	0	0	0



圖九、不同磁場大小的釹鐵鋁磁鐵，對本身轉速的影響

我們發現，一個重量 13.5 公克、直徑 15.6mm、高度 10.26mm 的釹鐵鋁磁鐵，它的磁場在本實驗中最少要達到 1800 高斯，方能連同螺絲吸在 SM 模型上，產生轉動的力量。但並非所有的磁鐵只要達到 1800 高斯就可以轉動，因為物體的轉動就像陀螺的運動，要考慮轉動物體的重量與大小等因素【參考資料(4)】。

研究五、探討電池在相同電壓、不同「電流」下，對磁鐵轉動的影響。

經幾次實驗我們發現電池消耗得很快；於是我們轉為使用可以重複使用的充電電池（鎳氫電池）。

圖十、利用不同電流的電池，進行轉速測量



於是我們將家中現有的充電電池充好帶來，在使用三用電表量過電流電壓後，發現電壓都接近 1.4 伏特左右，而電流竟然有 1.7 到 3.5 之間的不同。

實驗方法：也許是充電電池新舊混合，造成我們手上充電電池「電壓相近、電流不同」的現象，我們正好利用這些特性，以這些電壓相同、電流不同的電池，在 SM 模型上，對磁鐵進行轉速測試。

實驗步驟：

- (1.) 先準備好下列材料：
 - 甲、SANYO AA 1850mAh 與 YUASA AA 2700mAh 的鎳氫充電電池數顆
 - 乙、直徑 1.3mm 銅線
 - 丙、鈹鐵鋁磁鐵（重量：20.75g、直徑：13.54mm、高度：17.9mm、磁場：4800 高斯）
 - 丁、反光貼紙
- (2.) 進行預備動作
- (3.) 對電池進行電壓、電流檢測，確保實驗電池的電壓保持在 1.4 伏特左右，若沒有，則更換其他充電電池。
- (4.) 進行後續動作

表六、通過磁鐵的電流，對磁鐵轉速的影響

編號	電壓 (伏特)	電流 (安培)	第一次最高轉速(RPM)	第二次最高轉速(RPM)	第三次最高轉速(RPM)	三次最高轉速平均(RPM)
1	1.41	3.5	3810	3810	3808	3809
2	1.4	3.1	2950	2921	2900	2924
3	1.41	2.7	1310	1310	1310	1310
4	1.4	1.9	0	0	0	0

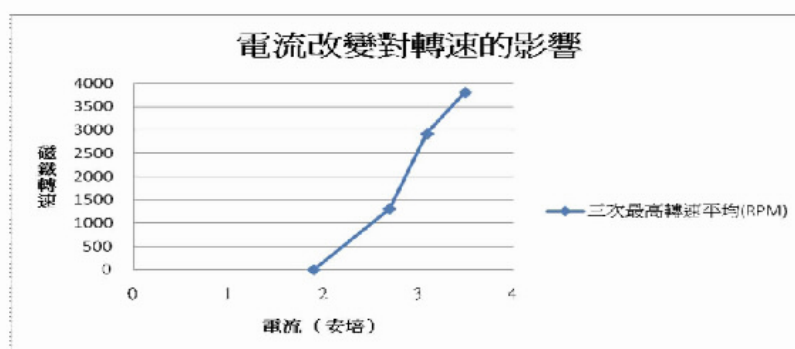


圖 十一、經過磁鐵的電流，對轉速的影響

研究六、探討相同電流、不同「電壓」下的電源，對磁鐵轉動的影響。

完成上一個實驗，老師建議我們試試看以電池串聯作為電力來源，因為理論上它可以造成電壓變大、電流不變的現象。



為了讓每顆電池的電壓電流都一樣，以便保持每組電力的一致性，於是我們買了全新的 AA 鹼性電池，經電壓、電流測試後，確定每顆電池都是 電壓 1.57 伏特、電流 3.1 安培，我們再一個個

慢慢串聯測量。

結果發現兩顆電池串聯後 電壓為 3.14 伏特、電流為 4.5 安培，量到三顆電池串聯後，電壓為 4.8 伏特、電流為 5.3 安培，如下表七。

表七、AA 乾電池串聯後，電壓與電流的變化

電池數目	電壓(伏特)	電流(安培)
1 (沒串聯)	1.57	3.1
2 (串聯 2 個)	3.14	4.5
3 (串聯 3 個)	4.8	5.3

事實證明，電池串聯後「電壓」大概加倍，可是「電流」並沒有固定不變。於是老師決定到其它地方借電源供應器來測量。

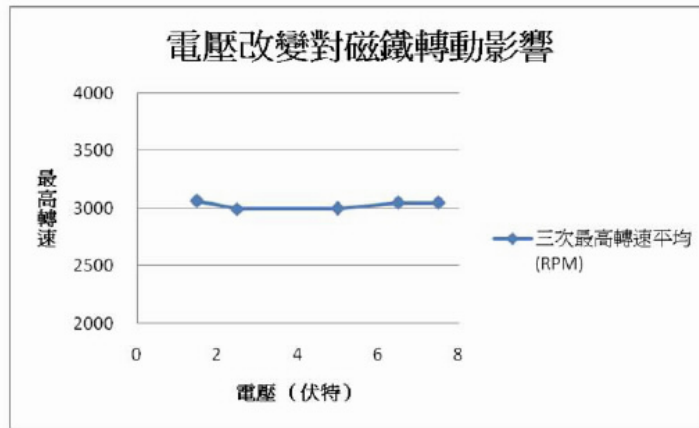
實驗方法：利用 SM 模型，以直流電電源供應器提供相同電流、不同電壓的電力，對磁鐵轉速的變化進行觀察。

實驗步驟：

- (1) 先準備好下列材料：
 - 甲、電源供應器
 - 乙、直徑 1.3mm 銅線兩條
 - 丙、大的釹鐵硼磁鐵（重量：20.75g、直徑：13.54mm、高度：17.9mm、磁場：4800 高斯）
 - 丁、反光貼紙
- (2) 進行預備動作
- (3) 將電源供應器調整到所需的電壓，並先將電流歸零，當形成通路後再調整電流到 3.1 安培。
- (4) 進行後續動作。

表九、改變通過 釹鐵硼磁鐵的電壓後，對轉速的改變

編號	電壓(伏特)	電流(安培)	第一次最高轉速(RPM)	第二次最高轉速(RPM)	第三次最高轉速(RPM)	三次最高轉速平均(RPM)
1	1.5	3.1	3100	3070	3020	3063
2	2.5	3.1	3004	2990	2990	2995
3	5	3.1	3010	2993	2990	2998
4	6.5	3.1	3064	3050	3030	3048
5	7.5	3.1	3062	3048	3032	3047



圖十三、通過磁鐵的電壓改變，對轉速的影響

研究七、探討「磁鐵重量」對磁鐵轉動的影響。

由於我們手上有許多顆大小形狀、磁場強度一樣的釹鐵鋁磁鐵，我們很自然的將它們疊在一起，彷彿像乾電池串聯一樣；我們心中想著，到底它的磁場會不會像電池串聯後電壓變大？因為我們手上沒有儀器（一台要 2、3 萬以上），所以就向磁鐵公司的老闆請教，並當場請他測量給我們看，結果得到兩點結論：

1. 「單獨一顆」磁鐵的磁力是均勻分佈，單獨一顆磁鐵上任一點的磁場應該相同。但當儀器慢慢遠離磁鐵時，它的磁場很快速的減弱。
2. 當磁鐵南北極相互串接起來時，它的磁場不會像電池一樣，成倍數相加。

因為導線接觸磁鐵的位置是最上面那一顆磁鐵的中心點與側面點位置，所以我們測量磁鐵磁場的位置也是以每一疊磁鐵中最上層的哪一顆磁鐵表面為範圍（如圖十四）。

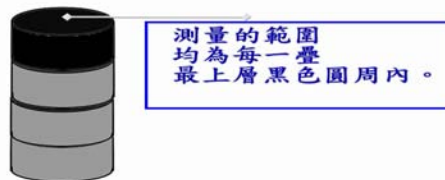
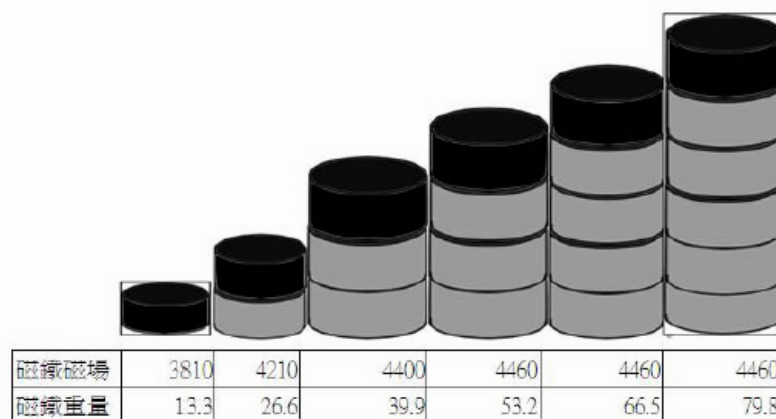


圖 十四

。我們將磁鐵堆疊後測量的結果，整理成下圖十五；



圖十五、釹鐵鋁磁鐵相疊後，最頂端磁場改變狀況

實驗方法：爲了防止磁鐵相疊太重而轉不動，所以我們加大電力的輸入，以兩顆充電電池串聯再進行本實驗，並將磁鐵一顆顆逐步增加，觀察「磁場相同但重量相異」的磁鐵轉速變化。

實驗步驟：

(1.) 先準備好下列材料：

甲、YUASA AA 2700mAh 的電池數顆，安裝在 AA x 2 串聯電池盒上

乙、直徑 1.3mm 銅線

丙、小的釹鐵硼磁鐵（重量 13.5 公克、直徑 15.6mm、高度 10.26mm，磁場均 爲 3810 高斯）

丁、反光貼紙

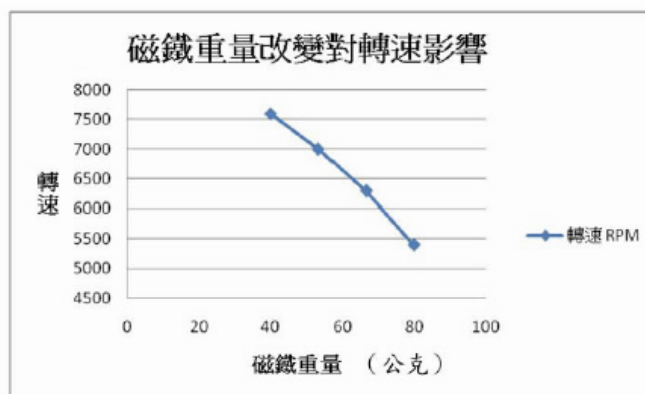
(2.) 將 3 顆磁鐵串接相吸在一起。

(3.) 進行預備動作與後續動作。

(4.) 再增加一顆磁鐵相疊進行測試

表十、磁場相同，重量不同的釹鐵硼磁鐵與磁鐵轉速的變化

實驗編號	電壓(伏特)	電流 (安培)	磁鐵重量 (公克)	轉速 RPM
1	2.9	4.1	39.9 (3 顆磁鐵)	7600
2	2.89	4.1	53.2 (4 顆磁鐵)	7000
3	2.9	4	66.5 (5 顆磁鐵)	6300
4	2.88	4	79.8 (6 顆磁鐵)	5400



圖十六、磁鐵重量與本身轉速的關係

將這四組磁場相同、重量不同的磁鐵，進行轉速實驗，發現磁鐵本身重量越大時，轉速越慢。

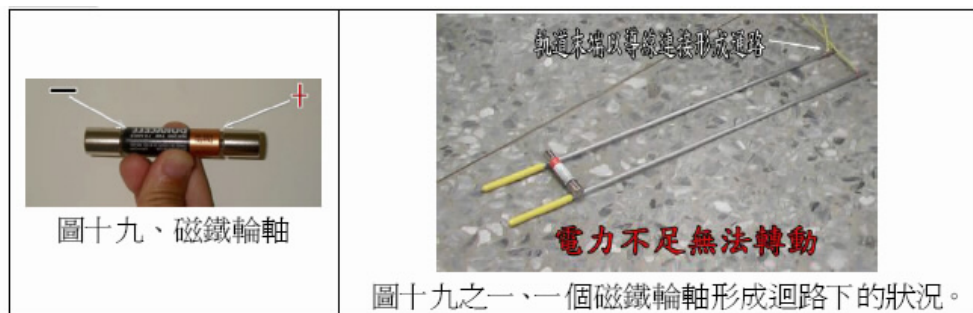


圖十七、不同重量、相同半徑與磁場的圓柱磁鐵，轉速變化。

研究八、受法拉第馬達的啓發，製作「磁鐵軌道車」。

我們曾想：「如果磁鐵轉動力量夠大，那將鐵釘拿掉，直接將電池與磁鐵相吸，在正負極都裝上磁鐵並形成通路，而通路的電流通過圓柱磁鐵的側面，也許就能帶動整組電池往前進。」

於是我們將電池兩端接上兩個圓形的鈹鐵鋁磁鐵，如圖十九，我們稱它作「磁鐵輪軸」，並將它放在兩根鋁條上（如圖十九之一）。



1. 玩出問題：

(1) 我們嘗試所有接法，發現只有在兩顆磁鐵北極均朝外，或南極均朝外，才會稍微震動。

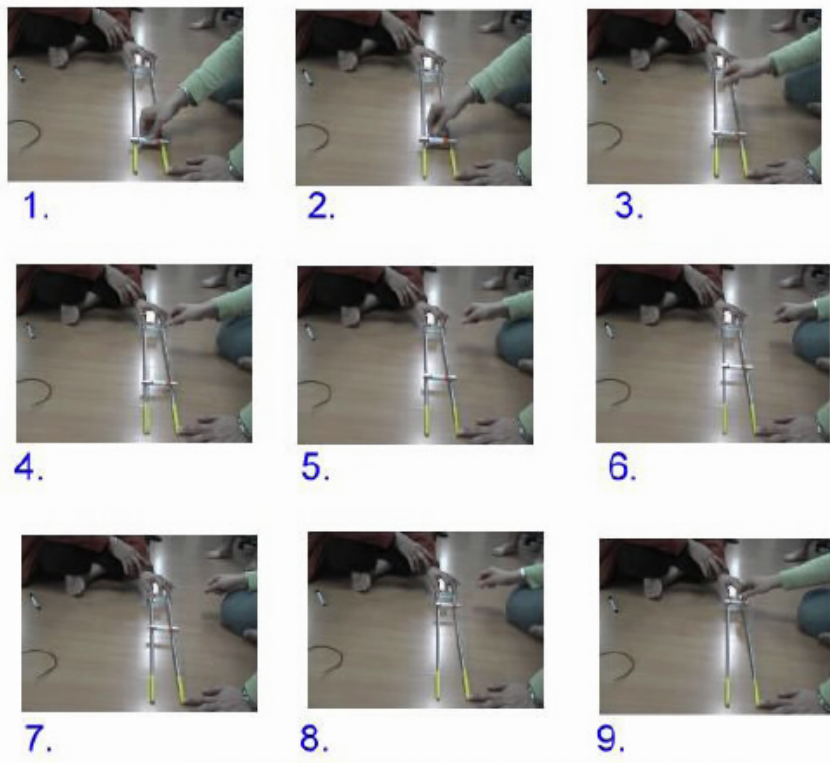
2. 改進方法：

(1) 我們加強電力，串聯兩顆電池（如圖二十），讓電流由原先的 3 安培增加為 4 安培，結果真的移動了！

(2) 墊高軌道也會移動：我們將轉動的情況用連續圖片表示，圖二十一在軌道的末端有墊高，磁鐵輪軸是向上坡前進的。



圖二十、串聯兩顆電池的「磁鐵輪軸模型」



連續動作：1→2→3→4→5→6→7→8→9

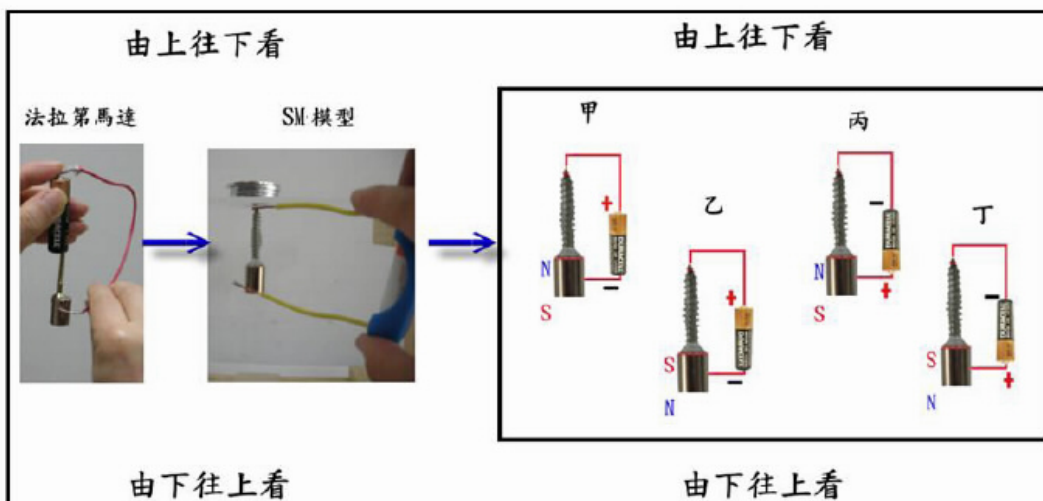
圖二十一、串聯兩顆電池的「磁鐵輪軸模型」轉動情形

研究九、磁鐵要怎麼接，軌道車才會轉動？

一、SM 模型中，電池與磁鐵的不同接法會有不同轉向

(一). 我們的想法：

從各種不同的接法中，我們可以由 SM 模型的上方往下看，也可以從 SM 模型的下方往上看，如圖 18。



圖十八、磁鐵（南北極）與電池（正負極）的可能接法

我們將所有的接法，以及觀察到結果，記錄成表十一，如下所示。

表十一、磁鐵轉動方向定義表

實驗編號	甲	乙	丙	丁
電池（電池與鐵釘的正負端）	+	+	-	-
磁鐵（電池與磁鐵交接處的磁極）	N	S	N	S
磁鐵的轉動（由圖的上方往下看）	順	逆	逆	順
磁鐵的轉動（由圖的下方往上看）	逆	順	順	逆

二、真實世界的汽車，輪胎的轉動方向為何？

右圖將玩具車外殼掀起直立擺放，眼睛從輪胎方向往車身方向看，一端若為順時針轉動，另一端則為逆時針轉動。

三、將 SM 模型中磁鐵的轉動方向，轉換成磁鐵輪軸（如同汽車輪胎）的轉動方向。



(一). 我們的想法：

1. SM 模型（表十一）是以上下垂直方向觀察，而磁鐵輪軸是以左右水平方向觀察磁鐵的轉動，而水平方向才是我們要的結果。
2. 我們發現，在水平方向，由磁鐵往電池方向看，就如同由下往上看 SM 模型，如下圖十九之二表示



圖十九之二、由下往上看磁鐵的轉動

3. 我們利用「磁鐵往電池方向看」等同於「由下往上看法拉第馬達」的口訣，將表十一中磁鐵的轉動方向，對磁鐵輪軸(圖十九)的磁鐵轉向做預測，整理成表十三。

編號	左邊磁鐵與電池負極接觸點的極性	右邊磁鐵與電池正極接觸點的極性	左邊磁鐵一轉動方向	右邊磁鐵一轉動方向
1	N	N	順	逆
2	N	S	順	順
3	S	N	逆	逆
4	S	S	逆	順

表十三、磁鐵輪軸中的磁鐵轉動預測表

四、磁鐵輪軸與真實汽車輪胎的轉動對應

1. **真實汽車輪胎前進或後退的轉動**：一端順時針時，另一端必為逆時針
2. **磁鐵電池組的實驗結果**:只有「編號 1 與編號 4」的組合可以轉動，而這兩個磁鐵轉動的方向正好是一端為順時針，另一端則為逆時針。

所以磁鐵電池的輪軸轉動必須符合真實汽車輪胎的轉動，才會前進。

五、磁鐵的正確接法

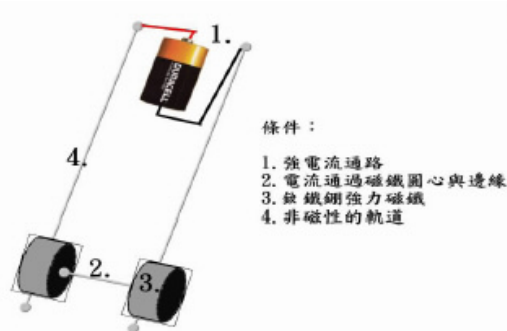
磁鐵與電池的接法必須是北極均向外，或南極均向外。

研究十、完成「電磁軌道車」進化版。

研究九中的電池軌道車--磁鐵輪軸，存在著三個缺點：

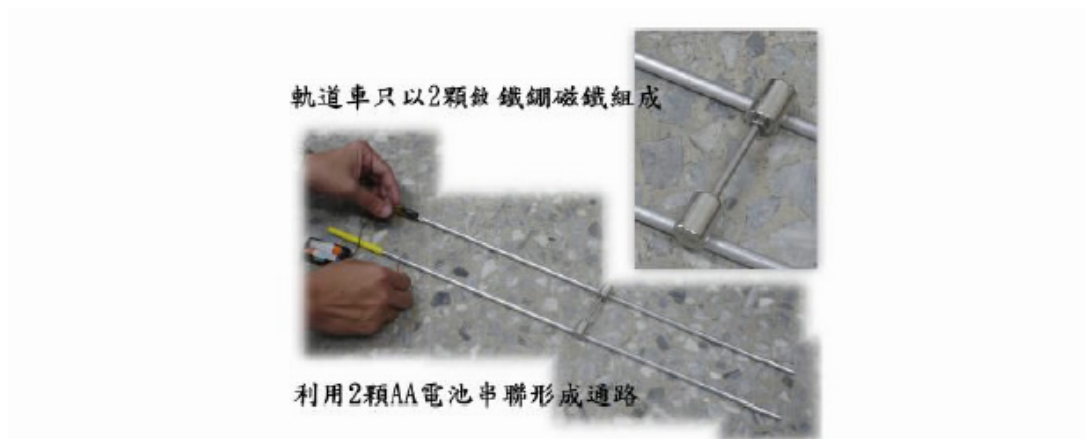
1. 車身重(有電池的重量)
2. 車型大小必須配合電池。
3. 電源供應比較沒有彈性。

為了「車、電」分離，於是我們研發第二代磁鐵輪軸，如圖二十四。



圖二十四、第二代磁鐵轉輪軌道車

我們先將電磁輪軸以一根小鐵棒，兩端各接上一個小軸承吸住磁鐵而不至於脫落（如圖二十五，下方），軌道末端以兩個 AA 2700mAh 充電電池串連，結果軌道車順利前進。



圖二十五、第二代磁鐵轉輪軌道車以兩顆鹼性電池串聯後，轉動的狀況

1. 再度改良：

- (1) **車身更輕**：我們利用一個直徑只有 9.46mm、重量 0.75g、磁場 2740 高斯、厚度 1.61mm 的小型釹鐵錒磁鐵（如圖左）兩個，加上一個小鐵釘，放在 SM 模型上，如右圖二十七 以兩顆 AA 鹼性電池串聯作實驗。



圖二十七 迷你釹鐵錒磁鐵轉動

- (2) **磁鐵太輕的煩惱**：由於整個輪軸太輕，很容易整個向上吸引，所以我們在磁鐵尾端加上一顆鐵球吸附，以便讓它自然下垂
- (3) **轉速更快**：經通電測試，轉速竟然達到 5800RPM。

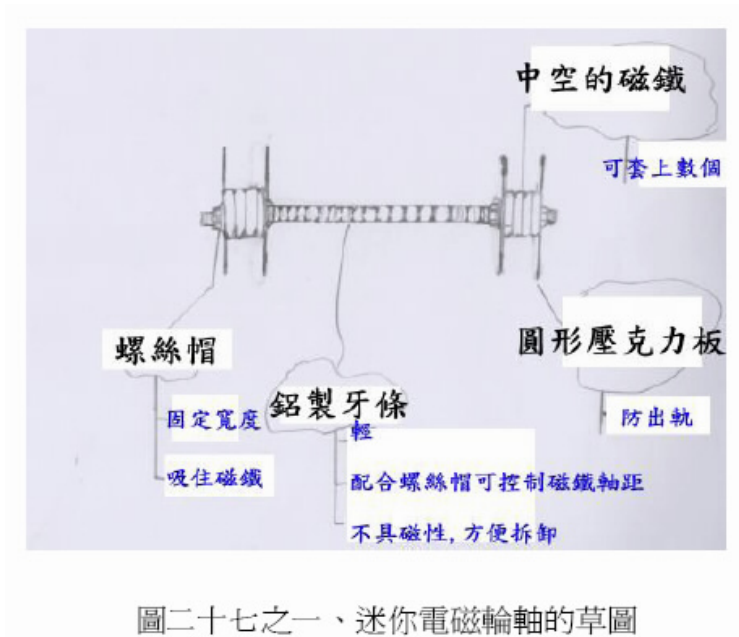
2. 改良再改良：

- (1) 改良原因：第二代磁鐵軌道車的存在下列缺點
- 甲、磁鐵無法累加
 - 乙、磁鐵間的距離很難隨意控制。
 - 丙、磁鐵大小變換不易

- (2) 夢想中的迷你電磁輪軸的草圖

為了改良上述缺點，我們希望實驗組合可以如同積木般的組裝。

優點：磁鐵間的距離可以調整、磁鐵大小與數量可以改變、輪軸可以防止出軌、整組裝卸方便、重量要輕。



研究十一、「磁鐵輪軸」用在發電的可能性。

經過上一個實驗，我們靈機一動，覺得既然電池供電讓軌道車前進，那如果讓軌道車自己轉動的話，應該可以在軌道的另一端產生電力！於是我們將「第二代磁鐵轉輪軌道車」放在鋁製軌道上，同時將軌道車的另一端以三用電表連接，如圖二十八。



我們將鋁條軌道的另一端抬高，讓「第二代磁鐵轉輪軌道車」從斜坡下滑（圖二十八之一），發現三用電表從軌道車靜止時「電流=0」，一直到軌道車下滑途中達到「電流=0.06 毫安培」（圖二十八之二），軌道車停止後隨即電流又歸零。

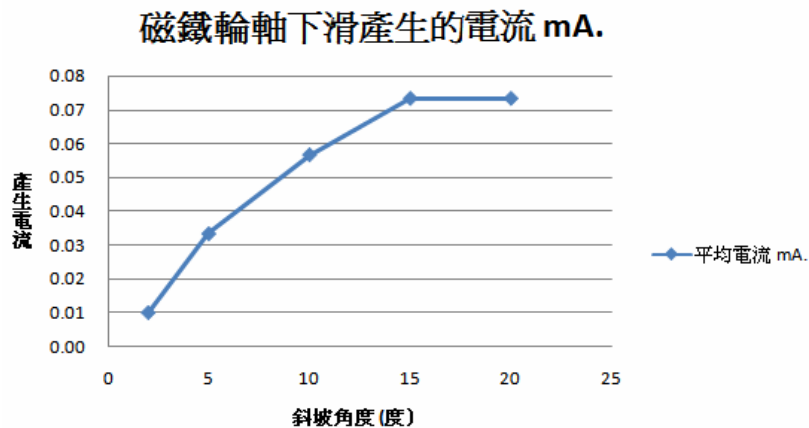
1. 我們的想法：
提高轉速（增加坡度），應該會增加電流的產生。

2. 實驗：
我們利用了 斜坡 2 度到 20 度不等的斜角（如右圖），再對同一顆磁鐵（磁場 4800 高斯）的鈹鐵鋤磁鐵進行實驗，完成下面數據。



第二代磁鐵軌輪軸軌道車沿不同斜坡角度下滑產生的電流

角度(度)	第一次 (mA)	第二次 (mA)	第三次 (mA)	平均 (mA)
2	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.03	0.03	0.04	0.03
10	0.06	0.06	0.05	0.06
15	0.07	0.08	0.07	0.07
20	0.07	0.07	0.08	0.07



3. 結果分析：

- (1) 斜角提高到 **10** 度以上時，感應電流增加幅度不明顯
- (2) 磁鐵下滑的過程，還是會常有偏移的現象，這應該也是影響實驗數據的原因
- (3) 雖然電流微弱，可是如果透過某個裝置對電流收集，積少成多應該可以當作迷你發電機來使用。

4. 我們的想法：如果能提供穩定而高速的旋轉環境給釹鐵鋁磁鐵，電流會增加嗎？





研究十二、「磁電再生能源車」的可能性。

爲了提供一個穩定而高轉速的環境，來使上一個研究的磁鐵軌道車產生電能，我們拆解了一台玩具車，並將連接輪胎的橫軸更換，進行實驗與觀察。

一、材料：小型軌道車、3mm 直徑鋁質牙條、金屬螺帽、圓孔型釹鐵鋁磁鐵（磁場 3810 高斯），電鈴開關、電線、木板、電池。

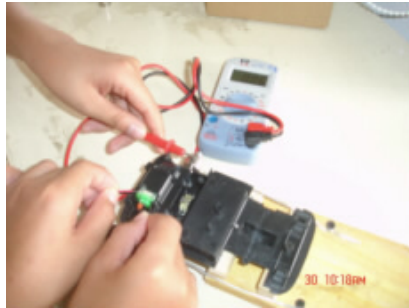
二、製作方法：

- (一) 將連接輪胎的橫桿 換成 鋁製牙條，方便更換磁鐵。

			
拆解前後輪與車殼	打開引擎蓋	抽離輪胎橫桿，換成鋁製牙條	裝回引擎蓋，兩端鎖上磁鐵與螺帽。

(二) . 以三用電表的兩根探棒代替鉛棒。

下圖發現磁鐵輪軸轉動後，經電表連接會產生 **0.5mA~1mA** 的電流，比研究十一中的磁鐵輪軸產生的 0.06mA 電流大上 8 至 16 倍之多。



三、我們的想法：

這樣的結果讓我們聯想到，只要能將磁鐵轉動後產生的電流效應提高，同時使用裝置將電能收集後，理論上應該可以使用於**能源再生**上！

陸、 研究結果與討論

一、 研究一、依樣畫葫蘆，組裝第一個法拉第馬達

本實驗主要是驗證網路中的照片，讓它可以動起來的可行材料，所以建議：

- (1) 電池：至少為全新 AA 鹼性電池或是 AA 鎳氫充電電池
- (2) 磁鐵：充磁飽合的釹鐵硼磁鐵（20 公克左右，直徑約 13-15mm，約中指體積的 1/3 左右）
- (3) 電線：細銅線即可。
- (4) 螺絲釘：平頭尖尾的金屬螺絲釘

二、 研究二、自行設計極簡馬達實驗模型

我們的實驗模型有下列幾項優點：

1. 磁鐵與電池拆裝方便。
2. 實驗因素方便更改。
3. 觀察容易。
4. 材料使用無磁性的材質，可以防止磁力干擾

- 三、 研究三、探討導線不同的「接觸點」下，對磁鐵轉動的影響。
- (1) 電池與磁鐵的接觸點代表電流通過的兩點。
 - (2) 電流必須通過圓柱狀磁鐵的 圓心與側面，才會使磁鐵轉動。
- 四、 研究四、探討不同磁場大小下，對磁鐵轉動的影響。
- (1) 磁鐵的磁場大小，會改變磁鐵本身的轉速。
 - (2) 磁鐵的磁場愈大，轉速越高。
- 五、 研究五、探討相同電壓、不同「電流」下，對磁鐵轉動的影響。
- (1) 電流改變對轉速有明顯的影響。
 - (2) 通過磁鐵的電流越大，磁鐵的轉速越高。
- 六、 研究六、探討相同電流、不同「電壓」下，對磁鐵轉動的影響。
- (1) 電壓改變對磁鐵轉速幾乎沒有明顯變化。
 - (2) 電池串聯的結果是：「電壓加大，但電流沒有固定不變（電流也會變大）」。
- 七、 研究七、探討「磁鐵重量」對磁鐵轉動的影響。
- (1) 磁鐵轉動，好比陀螺轉動^{【參考資料(4)】}，它們之間的特性都是轉動物體越輕，轉速越快。
- 八、 研究八、由於法拉第馬達的啟發，製作「磁鐵軌道車」。
- (1) 我們嘗試所有接法，發現只有兩顆磁鐵北極均朝外，或南極均朝外才會稍微震
 - (2) 我們將磁鐵軌道車在鋁條的另一端串聯一顆電池，結果讓磁鐵轉動。
- 九、 研究九、磁鐵要怎麼接，軌道車才會轉動？
- (1) 軌道輪軸的接法，必須是兩個磁鐵均為 北極向外或是兩個磁鐵均為南極向外與電池正負極相接。
 - (2) 也只有上述的接法，才會使兩個磁鐵一個以順時針轉動，另一個以逆時針轉動。這樣的轉法才是真實汽車輪胎轉動的方法。
- 十、 研究十、完成「磁鐵軌道車」進化版。
- (1) 將電源供應與軌道車的裝置分離、各自獨立，可以彈性改變軌道車大小、形狀，以及電源供應方式與電力大小。
 - (2) 以 重量 0.75g、直徑為 9.46mm、磁場 2740 高斯的 鈹鐵鋁磁鐵相疊兩顆並在磁鐵尾端加上一顆鐵球 5.5g，最高轉速可以達到 5800RPM，表示迷你型軌道車真的非常可行。
- 十一、研究十一、「磁鐵輪軸」用在發電的可能性。
- (1) 電力既然可以讓磁力軌道車轉動，那用外力轉動的磁力車應該可以產生電力。
 - (2) 磁力軌道車在受地心引力向斜坡下滑時 可以產生微量電流。

十二、研究十二、「磁電再生能源車」的可能性。

- (1.) 提供磁鐵高速穩定的轉速，可以讓電流的產生提高。
- (2.) 在感應電流的提高方法，以及電流收集的研究上，雖然限於時間與篇幅的影響無法繼續實驗下去，但可以作為下次科展的研究主題。

柒、 結論

1. 本實驗裝置影響磁鐵轉動的因素有下列幾點：
 - 甲、通過磁鐵的電流，必須經過磁鐵的「圓心與側面」兩點。
 - 乙、鈹鐵錒的磁場越大，轉速越快。
 - 丙、通過磁鐵的電流越大，轉速越快。
 - 丁、磁鐵的重量越小，轉速越快。
2. 不論是網路提供的法拉第馬達圖片或是本研究研發的 **SM(Simplest Motor)**模型，在實際組裝與操作觀察上，都比目前市場現有的馬達模型還要簡單、便利。
3. 利用本實驗歸納的磁鐵與電池接法，可以應用在『**電磁軌道車上**』，這個磁鐵軌道車的「磁鐵與輪軸」若可自由拆卸，加上不同電力大小的組合，那實際量產成**科教玩具**的機會很高。
4. 利用「電磁軌道車進化版」的觀念，我們可以反推，本實驗裝置在不接電池只靠外力轉動的情況下，可以當作**迷你發電機**使用。

捌、 參考資料

- (1) 黃福坤(1999)。簡易馬達製作。2007-06-10 20:29:21。取自：
<http://www.phv.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=17428>
- (2) 數位影像坊（無日期）。Mr.OH!數位講座 第51講 電池大全。取自：
<http://www.digital.idv.tw/DIGITAL/Classroom/MROH-CLASS/oh51/index-oh51.htm>
- (3) Wikipedia 維基百科，自由的百科全書。「電池」。取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E6%B1%A0>
- (4) 中華民國第四十六屆中小學科學展覽會（2006）。國小組。自然科。參展作品「[丕約而同---對稱陀螺與非對稱陀螺](#)」（第 17 頁）。取自：
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/elementary/0815/081508.pdf>
- (5) Homopolar Motor(單極馬達) and Homopolar Roller。2008.3.27。取自：
<http://blog.pixnet.net/gene7299/post/12615447>

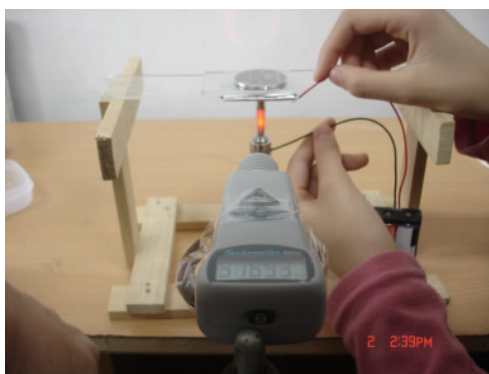
附錄一、實驗實況照片



一開始的實驗方式



第一代 SM (最簡馬達) 模型



轉速器的雷射對準目標 (第二代 SM)



測量磁鐵的外觀



磁鐵軌道車第一版



最原始的磁鐵軌道輪軸 (不含電池的車體模型)



磁鐵軌道車第二版



磁鐵軌道車與迷你發電機的聯想

【評語】 081511

1. 應在海報呈現所引用的參考文獻。
2. 現場的展示品清楚呈現作品的功能。
3. 由於此現象為已知，應多伸展他的應用範圍。