

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

佳作

080804

「鈴」「感」發光—自製發電扯鈴

學校名稱：臺中市南屯區惠文國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳亮宇	郭 榮
小六 張皓筌	陳俊明
小六 葉翰霖	
小六 黃柏嘉	
小六 李宸岑	
小六 陳柏銓	

關鍵詞：扯鈴、電磁感應、軸承

摘要：

「發電扯鈴」是利用「電磁感應」來發電，其關鍵為線圈與磁鐵要有相對運動。我們在同一個扯鈴上設計「快鈴」與「慢鈴」，並使用「軸承」令其產生速度差。經過第 I 代到第 III 代的十三個實驗，我們改良扯鈴結構、製作發電線圈，終於製作出不需要裝電池，有別於市售的發光扯鈴。當「快鈴」與「慢鈴」速度差約每秒轉 5.63 圈時即可點亮 LED。

壹、研究動機

小組想要製作「發電扯鈴」，經由查詢資料發現一般市售發光扯鈴都是使用電池而非利用旋轉發電，我們希望利用扯鈴「旋轉」的力量直接發電，能研發出不需要電池的發光扯鈴，節能環保又有趣！

貳、研究目的

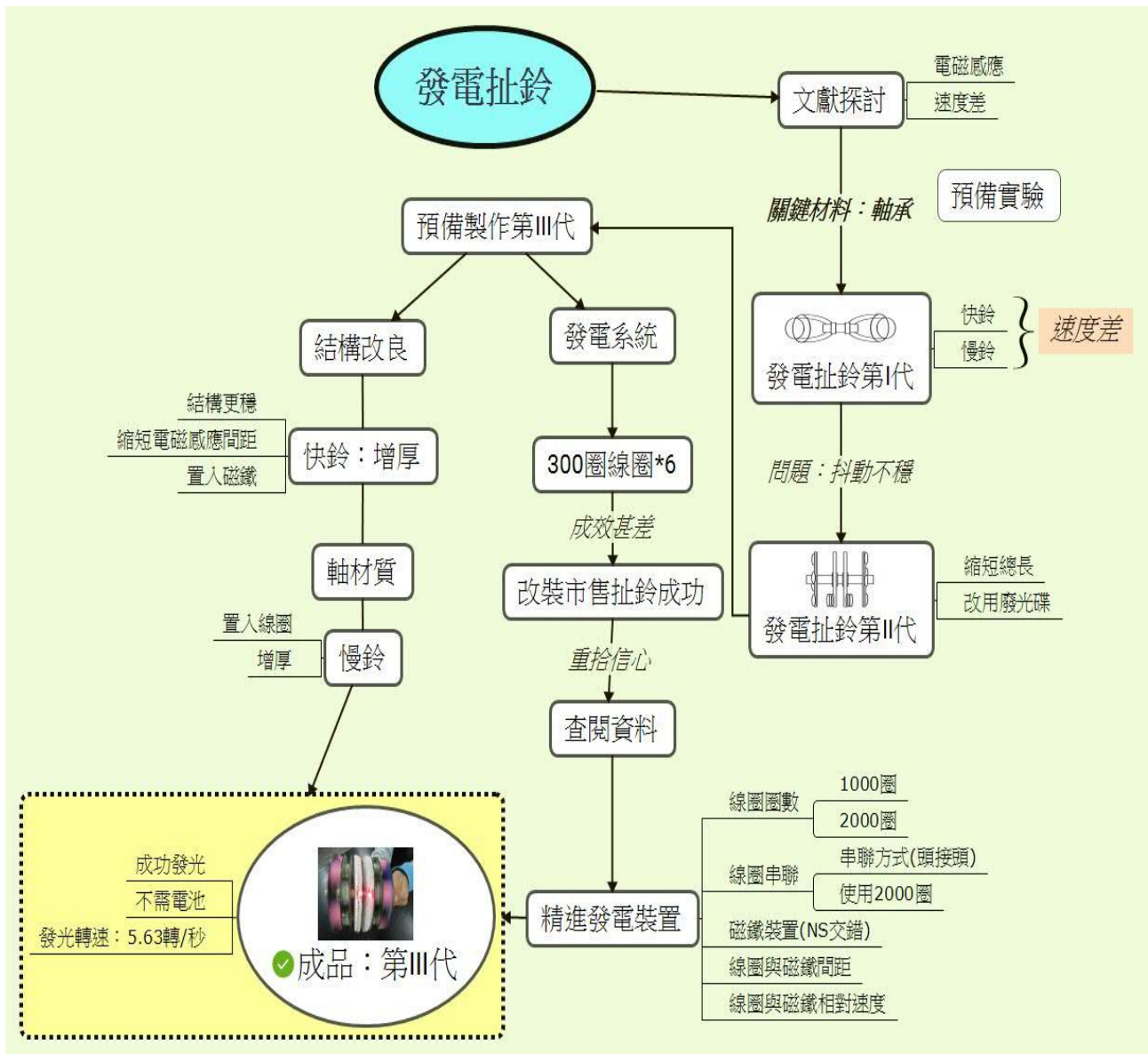
- 一、探討扯鈴發電可行性。
- 二、設計發電構造。
- 三、扯鈴結構改良。
- 四、研究發展「發電」扯鈴。

參、研究設備與器材

- 一、扯鈴：寶特瓶、廢光碟、針筒（6ml，外徑 15mm）、奇異筆筆桿（外徑 15mm）、木棒（直徑 15mm）、大小墊片。
- 二、關鍵零件：軸承（bearing），內徑 15mm。
- 三、發電構造：漆包線（0.23mm、0.17mm）、LED、磁鐵。
- 四、測量儀器：三用電表、軟體 Audacity、馬錶、改裝電扇等。
- 五、其他：市售扯鈴、市售小發電機、水管、針線、砂紙等。

肆、研究方法、結果與討論

實驗流程圖



實驗【一】文獻探討

我們查閱資料，整理如下：

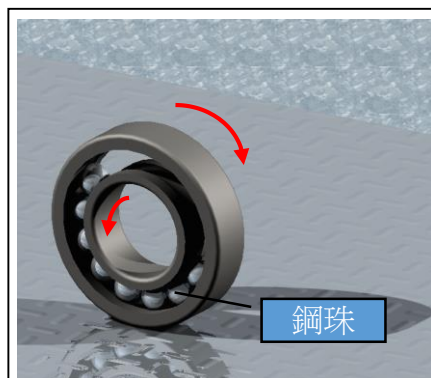
- 一、扯鈴：是傳統玩具，關於扯鈴的科展報告不多，如全國科展第 31 屆：東扯西扯一（扯鈴的研究），主要在研究扯鈴發聲和運轉，全國科展第 28 屆：扯鈴真好玩，主要在研究扯鈴運轉原理與技巧。2012 年臺灣國際科展：節能減碳-波浪發電機模型之創作與應用，此篇也是運用扯鈴概念發電，但所製作的是波浪發電機。
- 二、發電：我們規劃的是利用「電磁感應」製作發電結構。「電磁感應」是通過線圈的磁場產生變化，會使線圈感應產生電。產生的電與線圈數、磁通量的變化率成正

比。我們主要參考全國科展第 49 屆：有感而發，與英國的網路資料：

<http://www.creative-science.org.uk/gen1.html>

三、扯鈴發電可行性：扯鈴若要加上線圈使其發電，就需要使扯鈴上的線圈和磁鐵產生相對的運動，這樣才會產生磁力變化而「電磁感應」發電。小組觀察到市售的培鈴其軸與鈴的轉速不同，若是能在軸與鈴分別裝上磁鐵和線圈，是有可能發電的！但是什麼設計使市售培鈴能產生軸與鈴的轉速不同？仔細觀察後是「軸承」的巧妙結構。

四、軸承：維基百科：「能夠承托轉軸，當其他機件在軸上彼此產生相對運動時，用來保持軸的中心位置及控制該運動的機件，就稱之為軸承。」這是我們使用的關鍵零件，因為軸承能使扯鈴產生相對的運動—軸與鈴轉速不同。市面上所謂的培鈴，就是有軸承（bearing）的扯鈴，方便加速。



軸承內含鋼珠，使內外側可自由運動。圖：Wikimedia Commons 公有領域。

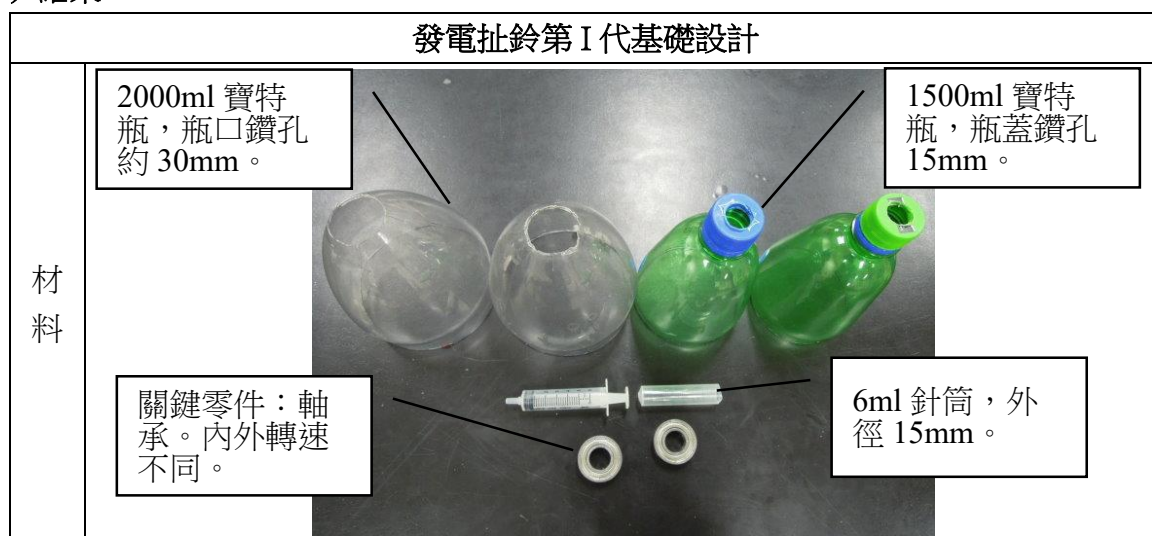
實驗【二】自製發電扯鈴第 I 代—基礎設計

小組想利用寶特瓶、教具室裡的 6ml 針筒和內徑 15mm 的軸承，製作發電扯鈴第 I 代。

（一）實驗方法：

1. 參考市售扯鈴結構。
2. 扯鈴的輪：使用二種尺寸寶特瓶，切割取碗狀部分。
3. 扯鈴的軸：6ml 的針筒（軸）為材料，外徑 15mm。
4. 使用內徑 15mm 的軸承，軸承接大的寶特瓶。
5. 重複測試並討論。
6. 加速 20 秒，測試持續旋轉時間。重複 3 次。

（二）結果：



組裝	<p>軸：6ml 塑膠針筒。</p> <p>大輪：與軸承相連，為慢鈴。</p> <p>小輪：與針筒(軸)相連，為快鈴。</p> <p>軸承：內圈固定於軸，外圈自由旋轉。</p>
圖說	<p>快鈴長約 13cm</p> <p>慢鈴長約 11cm</p> <p>1.2cm</p> <p>0.9 cm</p> <p>0.9 cm</p> <p>軸約 6cm</p>
說明	<p>因軸承外側與內側轉速不同，我們使軸承內側、軸、綠色寶特瓶(快鈴)固定在一起；這三者轉速就會相同。而外側與透明大寶特瓶(慢鈴)固定在一起，能自由旋轉。如此便能產生「快鈴」與「慢鈴」的速度差，以利發電。</p>

(三) 討論：

1. **第 I 代基礎設計**：如說明我們利用軸承外側與內側轉速不同，期待我們能做出「快鈴」與「慢鈴」，經過用手撥動，發現的確「慢鈴」可以自由旋轉，但是若是直接扯，則發現「快鈴」會帶動「慢鈴」，看不出有速度差。
2. **問題**：如何讓「快鈴」與「慢鈴」有明顯速度差？

實驗【三】自製發電扯鈴第 I 代—改良速度差

利用墊片取代磁鐵與線圈來控制「鈴」重，希望能利用墊片的重量（改變快、慢鈴的重量）、位置（改變快、慢鈴的重心）產生「快鈴」與「慢鈴」的速度差，以增加發電可能性。


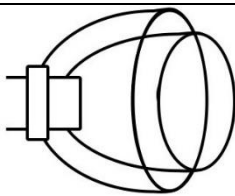

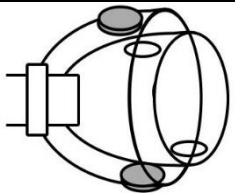
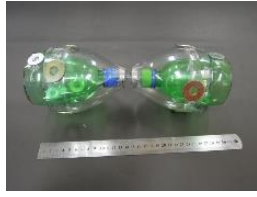
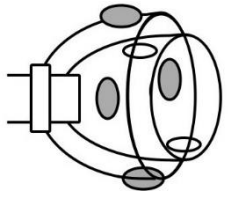

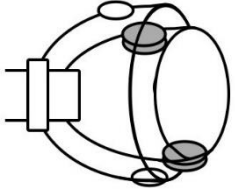

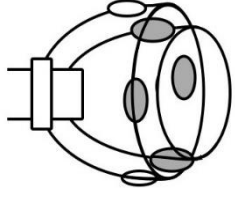

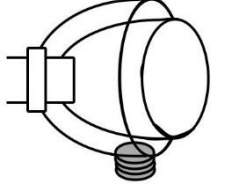
(一) 實驗方法：

1. 在發電扯鈴第 I 代「快鈴」與「慢鈴」上分別加上不同重量的墊片。
2. 墊片放在「快鈴」與「慢鈴」不同位置，改變快、慢鈴的重心。

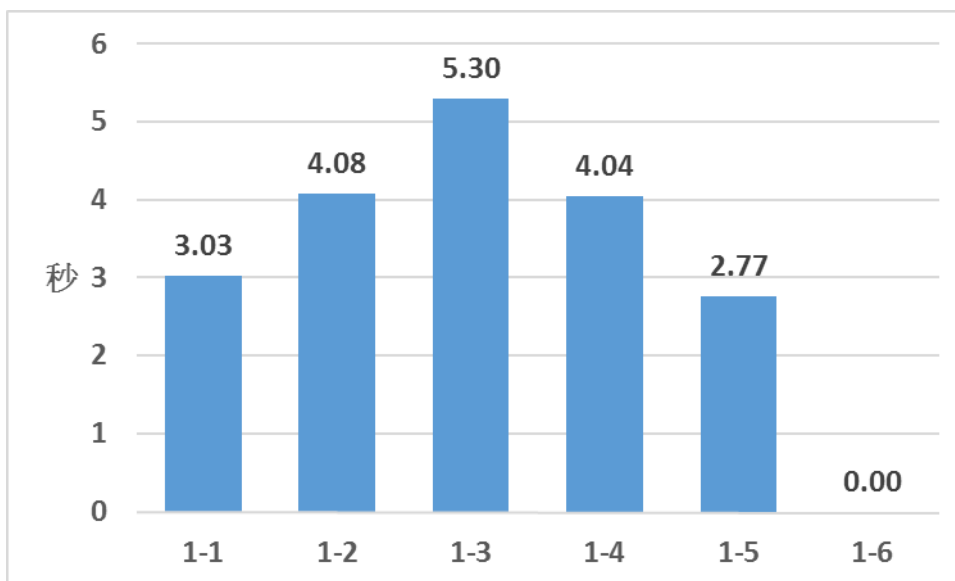
3. 扯鈴的軸：6ml 的針筒（軸）為材料，外徑 15mm。
4. 加速 20 秒（同一人），觀察：
 - (1) 快、慢鈴速度差，
 - (2) 停止加速後，測試持續旋轉時間，
 - (3) 觀察拉扯時扯鈴是否穩定。
5. 重複 3 次測試並討論。
6. 註：大墊片約 10.39g，小墊片 6.31g，實驗設計控制總重盡量介於市售扯鈴（192.3g）與市售培鈴（240.9g）附近。

（二）結果：

1. 發電扯鈴第 I 代「快鈴」與「慢鈴」速度差：

編號	照片	圖說（說明單側，另側同）	速度差
1-1		 慢鈴：無墊片。 快鈴：無墊片。 總重：132.3g	速度差 看不出
1-2		 慢鈴：約 180°各放 2 大墊片。 快鈴：約 180°各放 1 小墊片。 總重：241g	速度差 看不出
1-3		 慢鈴：約 90°各放 1 大墊片。 快鈴：約 180°各放 1 小墊片。 總重：241g	速度差 看不出
1-4		 慢鈴：約 180°各放 1 小墊片。 快鈴：約 180°各放 2 大墊片。 總重：241.1g	速度差 看不出
1-5		 慢鈴：約 180°各放 1 小墊片。 快鈴：約 90°各放 1 大墊片。 總重：241.2g	速度差 看不出
1-6		 慢鈴：單點放 4 大墊片。 快鈴：無墊片。 總重：216.3g	明顯速度差

2. 發電扯鈴第 I 代持續旋轉時間：



3. 發電扯鈴第 I 代穩定狀況：

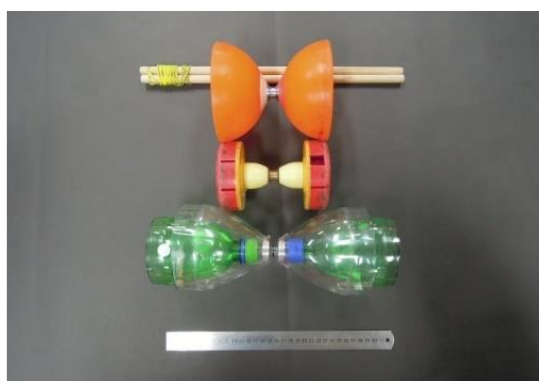
編號	1-1	1-2	1-3
照片			
說明	太輕，僅 132.3g	比 1-1 難扯	很穩，要很大力氣，比 1-2 好扯
編號	1-4	1-5	1-6
照片			
說明	不穩定，施力中等，會偏轉，不好扯	不穩定，施力小，不好扯	不穩，要很大力氣，不好扯

(三) 討論：發電扯鈴第 I 代

1. 速度差：

- (1) 原本希望在「慢鈴」與「快鈴」添加不同重物，希望能因為重量不同而造成明顯速度差，但發現只有 1-6 可以觀察到速度差：「慢鈴」幾乎不動，而只有「快鈴」在轉動。

- (2) 觀察發現，**關鍵**主要是在於重量分布；改變「慢鈴」重心，使「慢鈴」重心偏下，不易翻轉，可以造成明顯速度差。
- (3) 「快鈴」與「軸」與「軸承內側」相連，一旦順利扯起，若「慢鈴」重心也在軸上，則十分容易被帶動。
2. **持續旋轉秒數**：由記錄中得知 1-3 最穩，這也顯現在持續旋轉秒數上，1-3 平均為 5.30 秒最佳。1-6 雖有速度差但一停止扯也就停擺。
3. **穩定狀況**：1-3 最穩，但總體來說，「發電扯鈴第 I 代」都不算太穩，抖動明顯。
4. **其他**：發電扯鈴第 I 代雖說 1-3 最穩，但是卻無明顯速度差，而且普遍抖動明顯，我們發現寶特瓶材質偏軟，而且「發電扯鈴第 I 代」**長度過長**，只要「鈴」有些重量差，或黏貼不緊，就會抖動，有時還抖得很厲害。1-1 與 1-6 因此在扯的時候需要多繞繩一圈。
5. **問題**：若要裁切寶特瓶至 14.5cm 附近，勢必只剩下瓶口部分，幾乎「碗」狀構造全切除，我們該如何縮短自製發電扯鈴長度呢？



「發電扯鈴第 I 代」長度過長

- 自製第 I 代：
30cm
- 紅色扯鈴：
14.4cm
- 橘色培鈴：
14.5cm

實驗【四】自製發電扯鈴第 II 代

利用木棒取代針筒作「軸」，回收廢光碟作「鈴」，希望能改善第 I 代抖動不穩、長度過長的問題。

(一) 實驗方法：

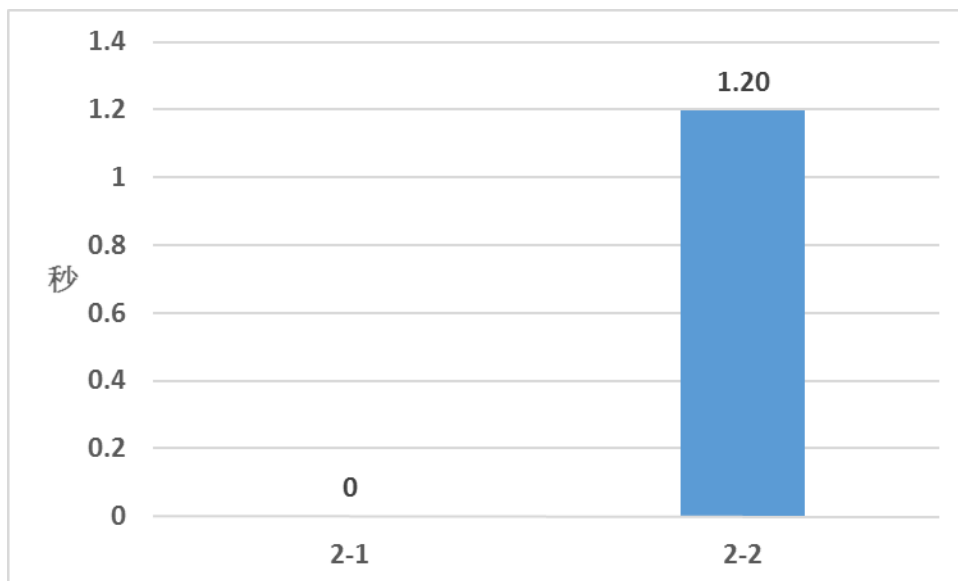
1. 軸：直徑 15mm 的圓木棒，長 14.5cm。
2. 「快鈴」：使用 2 片回收廢光碟，與軸、軸承內側相連。
3. 「慢鈴」：使用 1 片 3mm 的 PP 板，與軸承外側相連。
4. 以能造成速度差 1-6 的方式加墊片（參考實驗三）。
6. 加速 20 秒，測試持續旋轉時間。重複 3 次。

(二) 結果：

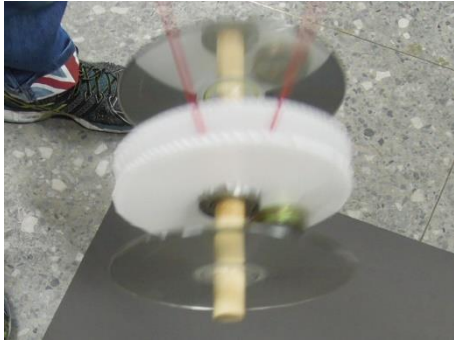
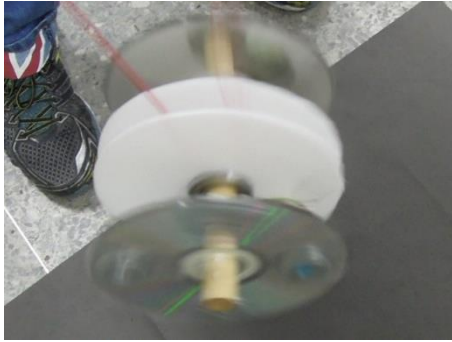
1. 發電扯鈴第 II 代

發電扯鈴第 II 代		
編號	2-1	2-2
照片	<p>慢鈴：PP 板</p> <p>快鈴：廢光碟</p>	<p>軸承</p> <p>軸：木棒</p> <p>墊片</p>
圖說	<p>軸承：厚 0.9cm</p> <p>PP 板：厚 0.3cm</p> <p>2cm</p> <p>1cm</p> <p>2cm</p> <p>軸長 14.5cm</p>	<p>尺寸與 2-1 同，唯添加 4 個小墊片於「快鈴」。</p>
說明	較不穩定，需要繞圈扯，有明顯速度差。	在「快鈴」上多添加 4 個小墊片，使快鈴更好扯。

2. 發電扯鈴第 II 代持續旋轉時間：



3. 發電扯鈴第 II 代穩定狀況：

編號	2-1	2-2
照片		
說明	剛開始穩，速度快時抖動明顯。比第 I 代難扯。	穩定性佳。

(三) 討論：發電扯鈴第 II 代

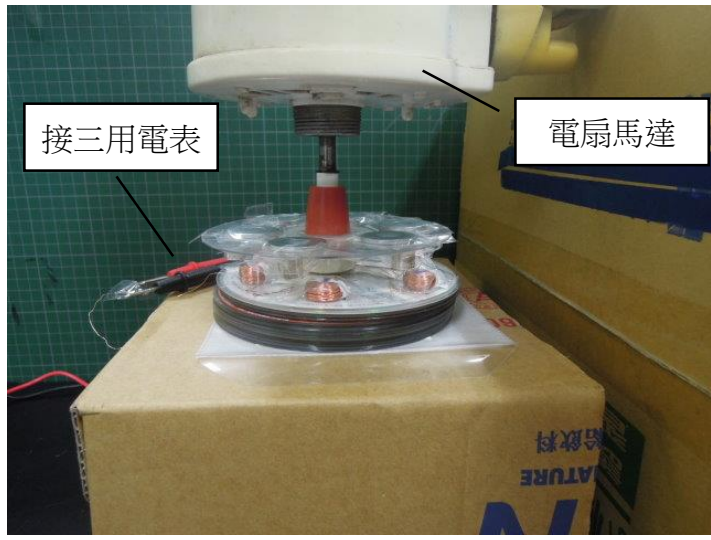
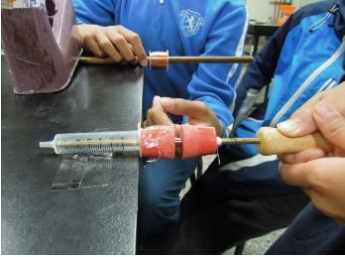



1. 穩定狀況：2-1 若加速則抖動明顯，因此小組討論與觀察發現一般扯鈴雖說只有一組鈴，但「鈴」重量也不輕；因此我們嘗試把外圍的「快鈴」加重，均等分配 4 個小墊片，果然扯起來穩定多了！
2. 持續旋轉秒數：由記錄中得知 2-2 較穩，這也顯現在持續旋轉秒數上。
3. 速度差：延續第 I 代改變「慢鈴」重心，使「慢鈴」重心偏下，不易翻轉，2-1 與 2-2 都可以造成明顯速度差。
4. 問題：有了還算穩定、且有明顯速度差的第 II 代，將線圈與磁鐵置入「慢鈴」與「快鈴」中，有可能會發電嗎？

實驗【五】發電線圈初探

閱讀前人報告，發現線圈若包鐵雖會增加發電，但會和強力磁鐵互相吸引導致結構破壞。我們計畫將自製扯鈴的「慢鈴」與「快鈴」裝置磁鐵和線圈，因為「慢鈴」和「快鈴」只是簡單固定於軸上，故參考文獻後，決定不在線圈中包鐵。

(一) 實驗方法：

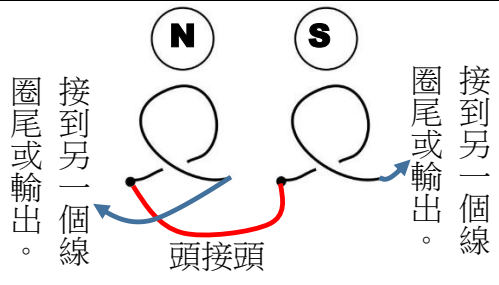
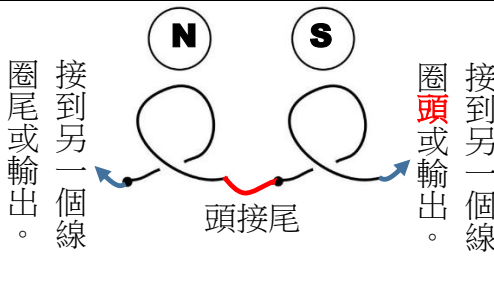
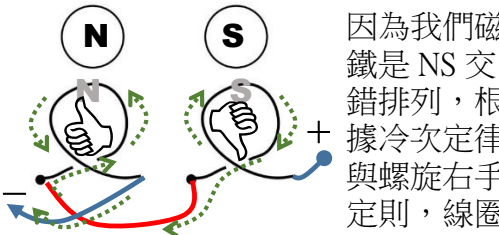
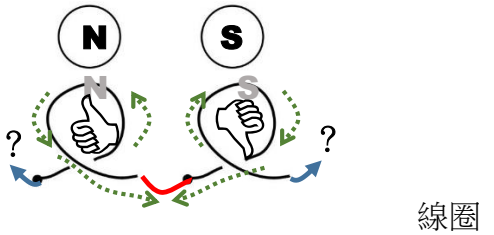
1. 使用 0.23mm 漆包線製作 300 圈的線圈。
2. 製作 6 個線圈串聯於透明光碟盤。
3. 線圈「頭接頭」與「頭接尾」接法，比較發電效果。
4. 串聯過程使用三用電表蜂鳴功能確定串聯為通路。
5. 對應 6 個強力磁鐵（直徑 10mm，高 10mm）NS 交錯排列，固定於透明光碟盤，盤另側使用小墊片，與強力磁鐵相吸期望更加穩固。
6. 使用電扇馬達帶動磁鐵盤轉動，線圈盤則固定不動。
7. 磁鐵盤與線圈盤間距約 2.5mm。
8. 以電扇的慢速轉動 5 秒，以三用電表測量交流電壓。重複測試 3 次。

	 <p>利用瓶塞、棍棒，自製繞線器。</p>	
<p>測量感應所產生的交流電壓</p>	<p>纏繞線圈</p>	
		
<p>磁鐵盤 NS 交錯排列</p>	<p>調整磁鐵位置</p>	<p>線圈盤</p>

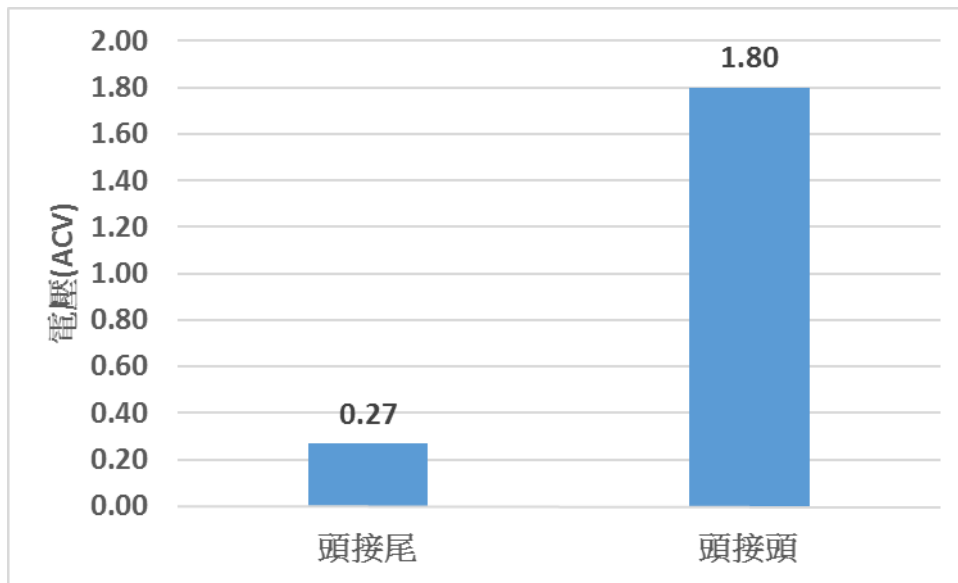
(二) 結果：

1. 線圈「頭接頭」與「頭接尾」接法：

說明：○代表磁鐵， ℓ 代表線圈（圖示簡化為一圈），線圈的「頭」則用●表示。

	頭接頭	頭接尾
接法		
說明	 <p>因為我們磁鐵是 NS 交錯排列，根據冷次定律與螺旋右手定則，線圈產生的磁極如圖之灰色，而感應電流方向則如綠色虛線。故「頭接頭」方式較為合理。</p>	 <p>線圈產生的磁極如圖之灰色，而感應電流方向則如綠色虛線。故「頭接尾」方式實在不理想。</p>

2. 六個線圈（300 圈，0.27mm）串聯發電比較圖：



(三) 討論：

1. 我們發現如文獻所述，當磁鐵為異極（NS 相間）排列時，線圈應該以「**頭接頭**」的方式才能產生較佳的電壓。
2. 「**頭接頭**」的方式產生 1.80V 的電壓，**仍無法使一顆 LED 發亮**（需要 3V）。



實驗【六】線圈與磁鐵間距對發電效果影響

(一) 實驗方法：

1. 使用實驗【五】的線圈盤與磁鐵盤。
2. 控制磁鐵盤與線圈盤之間距約為：2.5mm，6.7mm，13.7mm。
3. 以電扇的慢速轉動 5 秒，以三用電表測量交流電壓。重複測試 3 次。



間距約 2.5mm



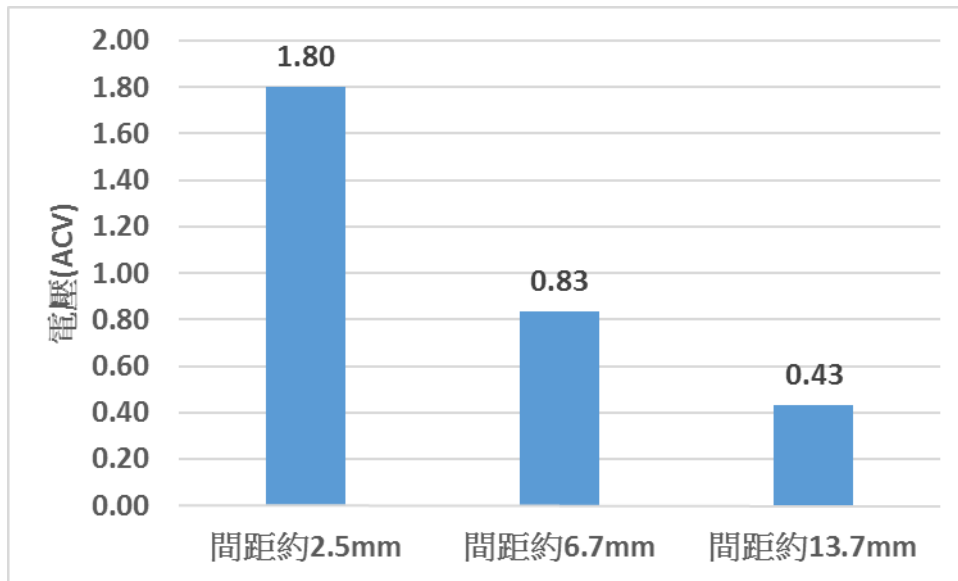
間距約 6.7mm



間距約 13.7mm

(二) 結果：

線圈與磁鐵間距對發電影響圖：



(三) 討論：

1. 我們發現線圈與磁鐵間距愈小，發電效果愈佳，實驗中間距約 2.5mm 的發電效果最佳，產生的電壓為 1.80V。
2. 問題：串連了 6 個 300 圈的線圈，再加上電扇馬達的轉速（比同學扯鈴速度快），發電效果竟然如此差！雖說我們和參考文獻的做法有些微差異，但這樣 1.80V 無法點亮一個 LED，真的出乎意料之外，我們要如何找尋出路呢？

實驗【七】研究改裝市售扯鈴成為「發電扯鈴」之可行性

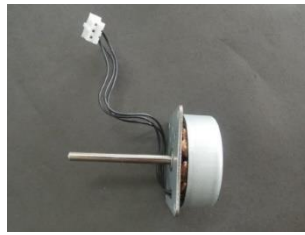
實驗五、六的結果令我們失望。我們計畫將市售扯鈴與教具「風力發電機」結合，嘗試使用現成零件組裝「發電扯鈴」，想證明我們原本的想法—發電扯鈴是可行的。

(一) 實驗方法：

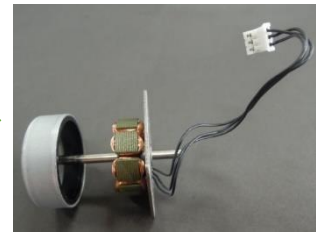
1. 觀察教具「風力發電機」，發現內部已經包含「軸承」。
2. 將發電機磁鐵與扯鈴「軸」結合。
3. 將發電機線圈與扯鈴「鈴」結合。
4. 利用水管接合「軸」與「鈴」。
5. 測試是否可以發電點亮 LED。
6. 利用「小墊片」加重「軸」邊緣，使其更好扯，再測試是否可以發電。



材料



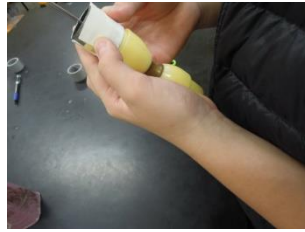
教具「風力發電機」



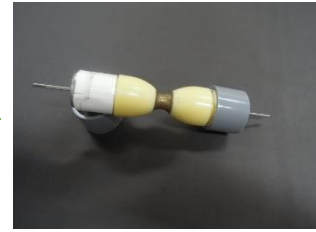
由線圈與馬達組成



線圈中央即是軸承



軸與磁鐵相接



用水管固定



鈴與線圈相接



組裝完成

不好扯。扯時搖晃不穩，經觀察發現我們主要是加速「軸」，然而軸十分輕，不易加速。



在軸邊緣加上墊片

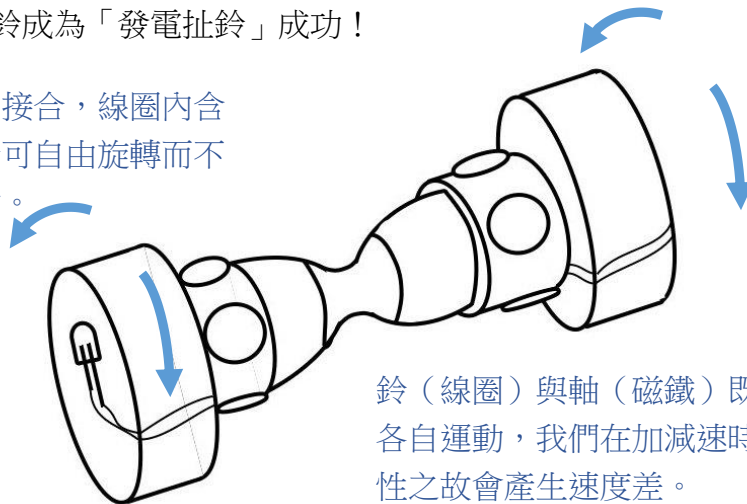


哇！成功了！

(二) 結果：

1. 改裝市售扯鈴成為「發電扯鈴」成功！

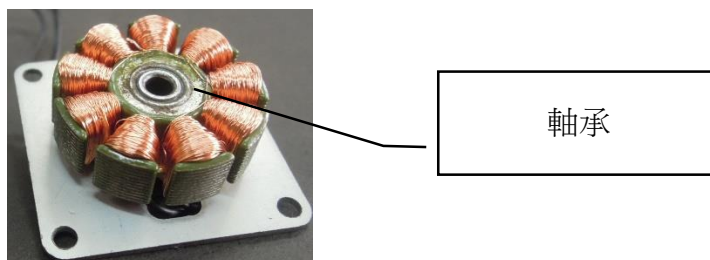
因為鈴與線圈相接合，線圈內含「軸承」，故鈴可自由旋轉而不必與軸同步運動。



鈴（線圈）與軸（磁鐵）既然能各自運動，我們在加減速時因慣性之故會產生速度差。

(三) 討論：

1. 教具「風力發電機」，發現內部已經包含「軸承」，故不需要再加入軸承。



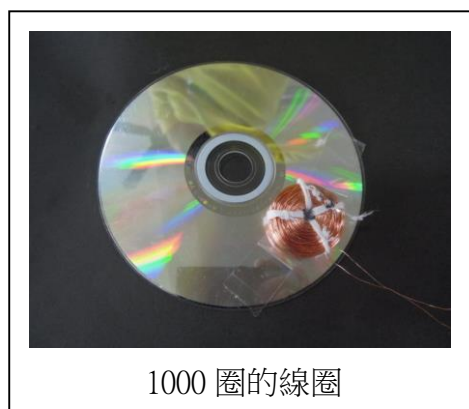
2. 改裝完試扯發現並不好扯。仔細觀察發現：
 - (1) 改裝後扯鈴變長了，所以容易傾斜、晃動。
 - (2) 因為「風力發電機」內的軸承發揮功能，所以我們主要是加速「軸」，然而軸十分輕，並不好扯而且不易加速。
 - (3) 因此我們決定在軸邊，也就是水管，加上 4 個小墊片，果然變得好扯許多。
3. 改裝市售扯鈴如何發電？
 - (1) 「磁鐵」與「線圈」必須產生速度差，所以是在加速、減速時，「軸」與「鈴」會產生速度差。這時 LED 就會亮起來。
 - (2) 加速時，「軸」比「鈴」快，扯鈴會在加速時發出足夠的電點亮 LED；減速時，「鈴」比「軸」快，扯鈴也能發出足夠的電點亮 LED。但當速度穩定時，「鈴」與「軸」幾乎同步運轉，無法使 LED 發光。
4. 我們小組十分興奮，至少，我們起初的想法是可行的！問題：要如何改善我們發電線圈的效能呢？

實驗【八】發電線圈改良—線圈數增加

再度查詢資料。我們參考國外 THE CREATIVE SCIENCE CENTRE 網站資料，其中建議的圈數為 1000~1500 圈，雖說構造與我們的不同，但我們決定嘗試增加圈數。

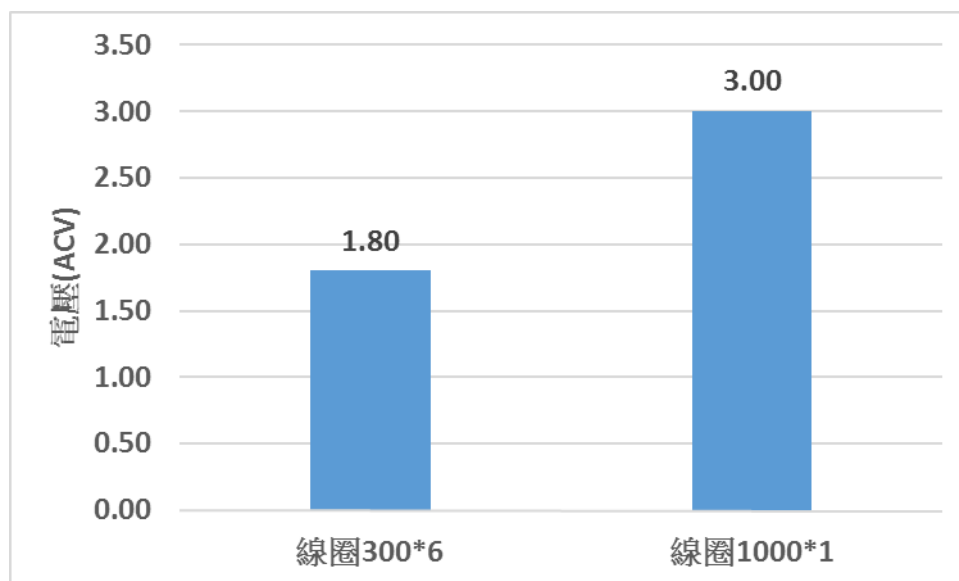
(一) 實驗方法：

1. 使用 0.23mm 漆包線（與實驗五同）製作 1000 圈的線圈。
2. 製作 1 個線圈置於光碟片。
3. 過程使用三用電表蜂鳴功能確定線圈為通路。
4. 使用與實驗【五】同的磁鐵盤。
5. 磁鐵盤與線圈盤間距約 2~3mm。
6. 以電扇的慢速轉動 5 秒，以三用電表測量交流電壓。重複測試 3 次。
7. 比較 1000 圈與串聯 6 個 300 圈的發電效果。



(二) 結果：

1. 1000 圈線圈與六個線圈（300 圈）串聯發電比較圖：



(三) 討論：

1. 結果令我們興奮，圈數增加為 1000，只要單一線圈即可產生足夠點亮 1 顆 LED 的 3V！
2. 問題：雖說 1000 圈可以發出足夠的電壓，但我們扯鈴的速度也沒有電扇馬達來得快！串聯兩個 1000 圈的線圈也許是個好主意，但發電效能會夠好嗎？

實驗【九】線圈改良—漆包線變細，圈數再增加

思考後決定要用更細的漆包線 0.17mm，繞更多圈數試試看；因為我們不希望最後的線圈過重，這樣的扯鈴可能會不太好扯。

(一) 實驗方法：

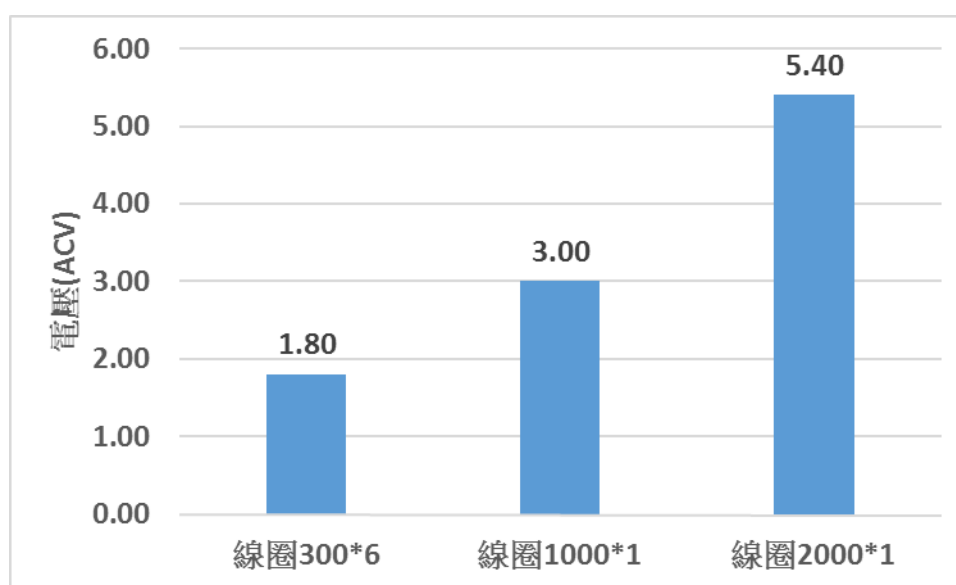
1. 使用 0.17mm 漆包線（與實驗五不同，實驗五是 0.23mm）製作 2000 圈的線圈。
2. 其餘過程同實驗【八】。
3. 與 1000 圈與串聯 6 個 300 圈的比較發電效果。



繞 2000 圈的線圈

(二) 結果：

1. 線圈圈數發電效果比較圖：



(三) 討論：

1. 結果令我們充滿希望，圈數增加為 2000，只要單一線圈即可產生 5.40V，尺寸也不會太大！

線圈	漆包線	圈數	個數	線圈直徑
1)	0.23mm	300	6	約 15mm
2)	0.23mm	1000	1	約 32mm
3)	0.17mm	2000	1	約 35mm

2. 2000 圈可以發出足夠的電壓，尺寸也符合我們的期待，我們做出想要的線圈！轉速在文獻中也是增加發電的因素，我們也來做實驗驗證。

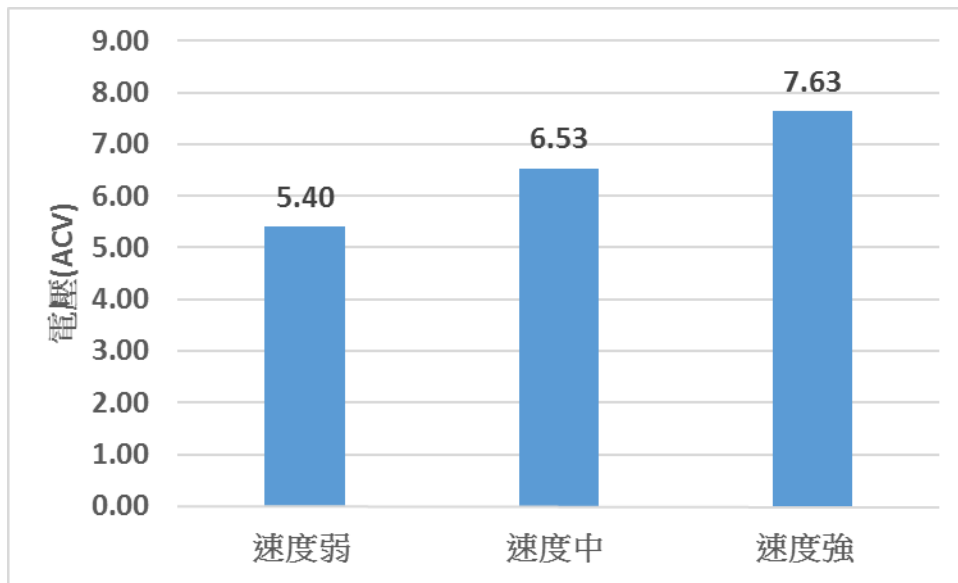
實驗【十】增強發電—轉速

(一) 實驗方法：

1. 使用實驗【九】2000 圈的線圈。
2. 將線圈固定於光碟。使用實驗【五】磁鐵盤。
3. 磁鐵盤與線圈盤間距約 2~3mm。
4. 分別以電扇的「慢速」、「中速」、「快速」轉動 5 秒，以三用電表測量交流電壓。重複測試 3 次。

(二) 結果：

1. 轉速與發電效果比較圖：



(三) 討論：

1. 結果的確如文獻所記，速度愈快，發出的電也愈強。
2. 問題：我們的擔心被證實，因我們扯鈴的速度並不快！如果轉速慢，不易加速，那串聯線圈或增加磁鐵應該是我們的解決方向。

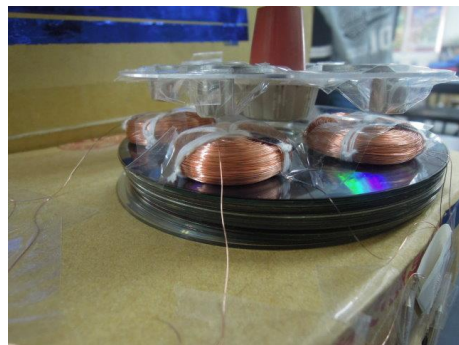
實驗【十一】增強發電—串聯

(一) 實驗方法：

1. 使用實驗【九】2000 圈的線圈。
2. 將線圈以頭接頭方式串聯 1、2、3 個線圈。使用實驗【五】磁鐵盤。
3. 磁鐵盤與線圈盤間距約 2~3mm。
4. 以電扇的「慢速」轉動 5 秒，三用電表測量交流電壓。重複測試 3 次。



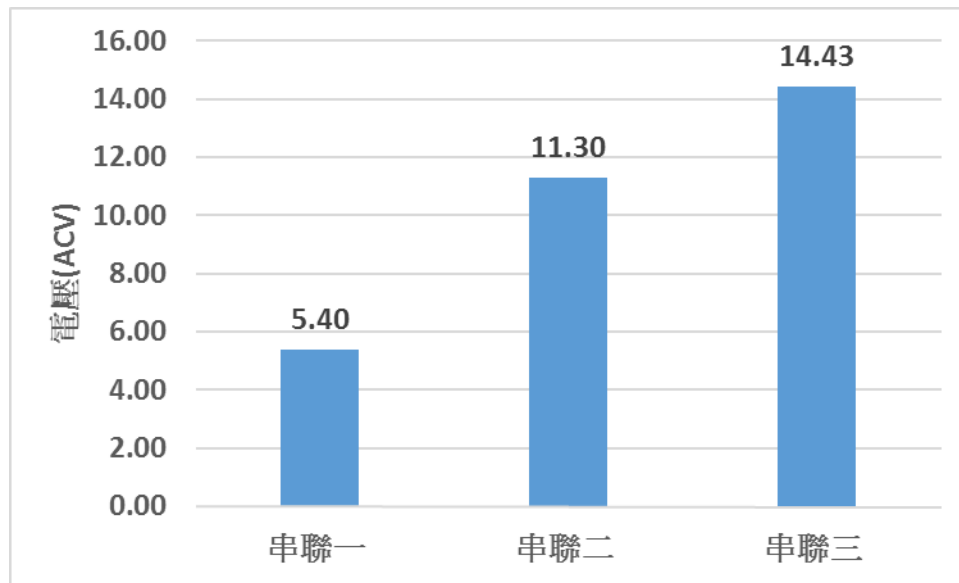
串聯 2 個線圈



串聯 3 個線圈

(二) 結果：

1. 轉速與發電效果比較圖：



(三) 討論：

1. 串聯效果甚佳，已遠遠超過我們的期待。但是要配合我們偏慢的扯鈴轉速，我們決定先試試看串聯 2 個線圈是否足夠點亮 LED。

2. 問題：是該試試套入發電扯鈴第 II 代了。

實驗停看聽 線圈與磁鐵裝入發電扯鈴前的規劃

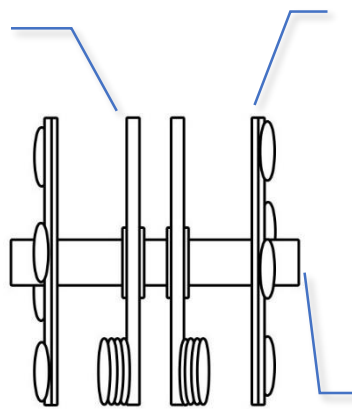
下圖為發電扯鈴第 II 代，我們決定要把實驗【九】的 2000 圈線圈，與 6 顆磁鐵置入，但因為希望讓磁鐵與線圈間距能盡量靠近，因此我們規劃補充一些設計，希望一切能更好。

(一) 實驗方法：

慢鈴：→實驗【十三】

- 計畫將 PP 板增厚為 3 片。
- 串聯 2000 圈線圈二個。
- 線圈至於慢鈴，以防快轉解體。

若發電順利使 LED 發亮，我們想測出能發電時的扯鈴轉速。→ 實驗【十三】



快鈴：→實驗【十二】

- 此區計畫放入 6 個磁鐵，磁鐵結構簡單，快轉不易解體。
- 將此區增厚，使磁鐵與線圈間距盡量靠近。

軸：

- 此部分將討論其他可替換材質。

實驗【十二】發電扯鈴第Ⅲ代—快鈴裝置

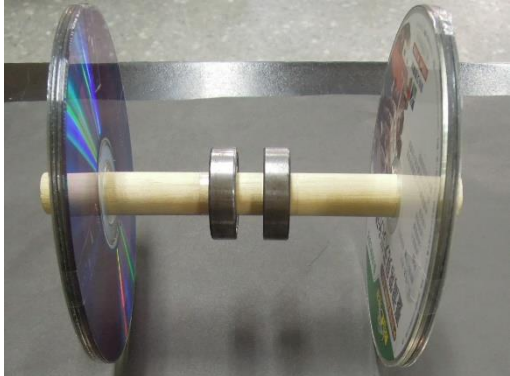

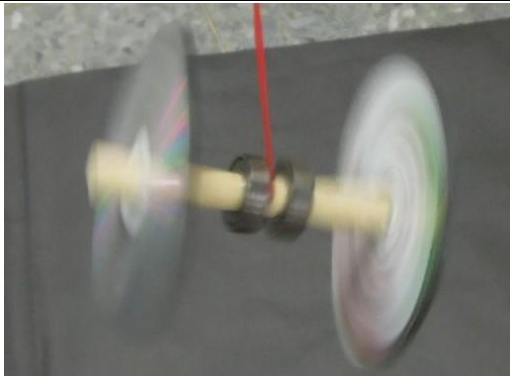
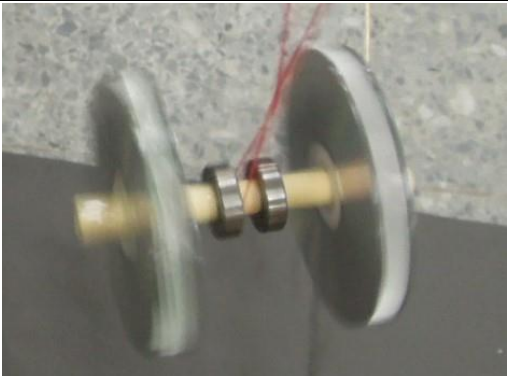
在早先預備實驗的時期，我們發現鈴的部分加厚可以增加扯鈴的穩定性，在真實發電階段，裝置磁鐵的「快鈴」必須加寬才能縮短磁鐵與線圈の間距。故此，我們希望這個設計能帶來幫助。

(一) 實驗方法：

1. 以單邊 4 片光碟為「快鈴」，一組以 1cm^3 積木增厚，一組沒有。
2. 加速 20 秒（同一人），觀察：
 - (1) 觀察拉扯時扯鈴是否穩定，
 - (2) 停止加速後，測試持續旋轉時間。
3. 實驗重複三次。

(二) 結果：

1. 「快鈴」穩定性觀察：

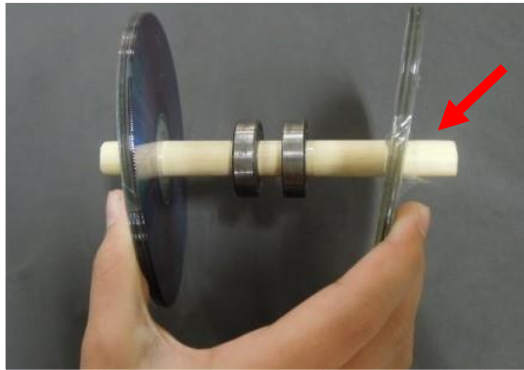
	快鈴無增厚	快鈴以積木增厚
快鈴設計		
穩定狀況		
說明	穩定性較差，容易抖動，十分不穩。	會擺動，但較穩。 註：積木是數學實驗 1cm^3 的教具。

2. 「快鈴不同設計」持續旋轉時間比較表：

快鈴設計	秒數 1	秒數 2	秒數 3	平均
不增厚	2	失敗	失敗	
方瓦增厚	2.87	3.13	3.98	3.33

(三) 討論：

1. 穩定性：



無增厚「快鈴」單一固定點，結構不穩

- 我們發現「無增厚快鈴」光碟與軸固定點只有中間，比較不穩。
- 反觀「增厚快鈴」靠積木多點固定，結構相對穩固許多。

2. 持續旋轉時間：由此也可以反映出「增厚快鈴」穩定性高，持續旋轉較久。

討論 發電扯鈴第Ⅲ代—軸

在「軸」方面，我們有試過三種材質，外徑都是 15mm，經過我們討論決定使用木棒。分析如下：

	塑膠針筒	白板(奇異)筆筆管	木棒
照片			
說明	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用於第Ⅰ代。 ● 優：容易取得，教具室裡很多。 ● 缺：長度不足，塑膠不耐熱，扯不久即會凹陷磨損。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用於預備實驗。 ● 優：容易取得、不易磨損。 ● 缺：有的筆管會略大一些，不能用；另外熱脹冷縮明顯，有時零件會拔不出來。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用於第Ⅱ代以後。 ● 優：使用經驗發現雖然天氣潮溼會影響木棒收縮膨脹，但它容易加工，通常會故意用砂紙磨小一些，方便套零件。 ● 缺：不好買，我們是去美術用品社買。

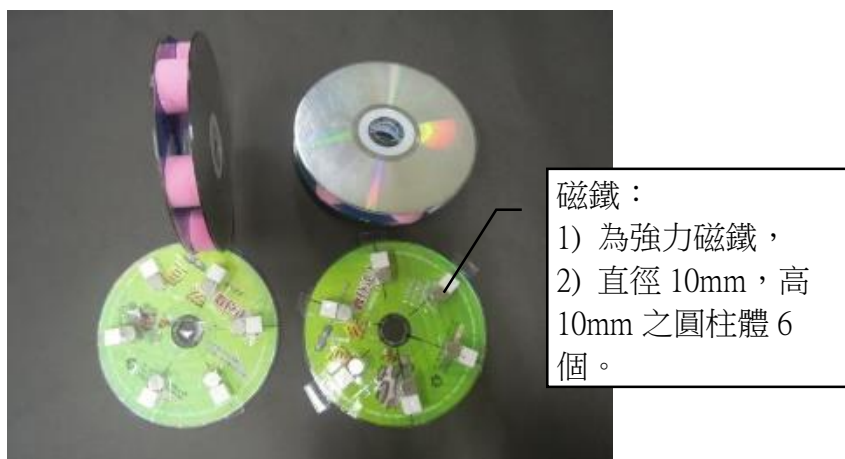
實驗【十三】發電扯鈴第Ⅲ代—組裝與測試

承以上實驗，我們開始組裝測試發電扯鈴第Ⅲ代。

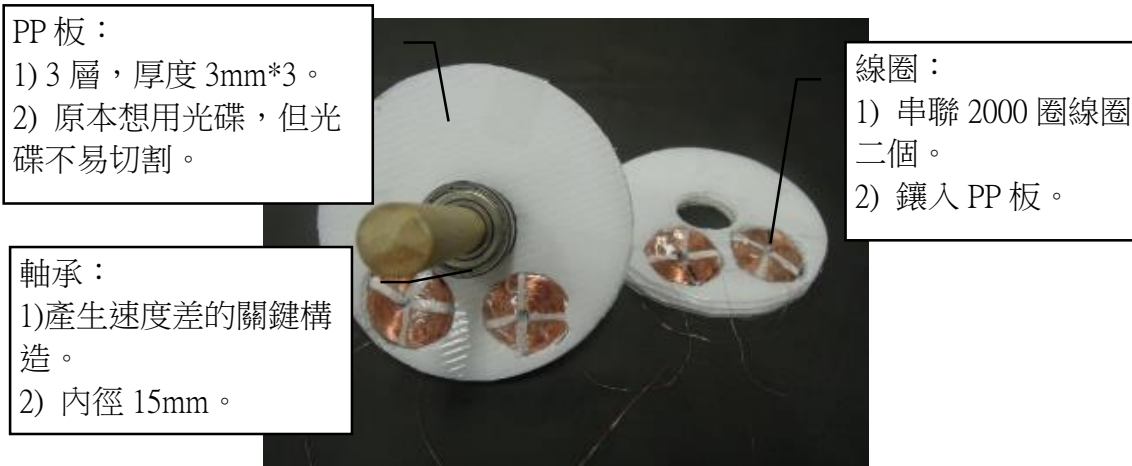
(一) 實驗方法：

1. 「快鈴」：以發泡塑膠（教具室橡皮筋動力車的輪子）增厚，再夾入 6 個磁鐵。
2. 「慢鈴」：因軸承本身厚 9mm，我們將套於軸承的 PP 板加厚為 3 層，恰好包覆軸承。單邊鑲入 2 個頭接頭串聯的 2000 圈線圈，再接上 1 個 LED。
3. 軸與軸承：使用外徑 15mm 的木棒與內徑 15mm 軸承。
3. 組裝後測試發電效果，並利用軟體 Audacity 算出發電時扯鈴的快慢鈴速度差。扯鈴轉速不易用眼睛判斷，故在扯鈴「快鈴」上貼上紙條，旋轉時與木棒接觸發出聲音，用聲音軟體 Audacity 計算旋轉的速度。實驗 3 重複。

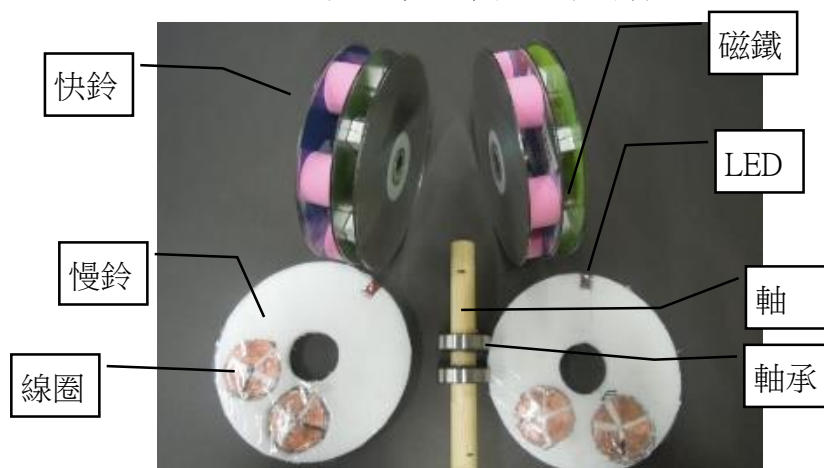
「快鈴」設計說明



「慢鈴」設計說明

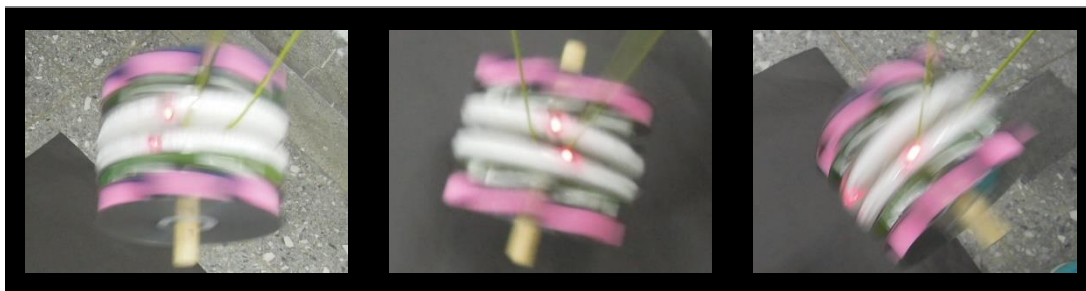


發電扯鈴第Ⅲ代—組裝零件



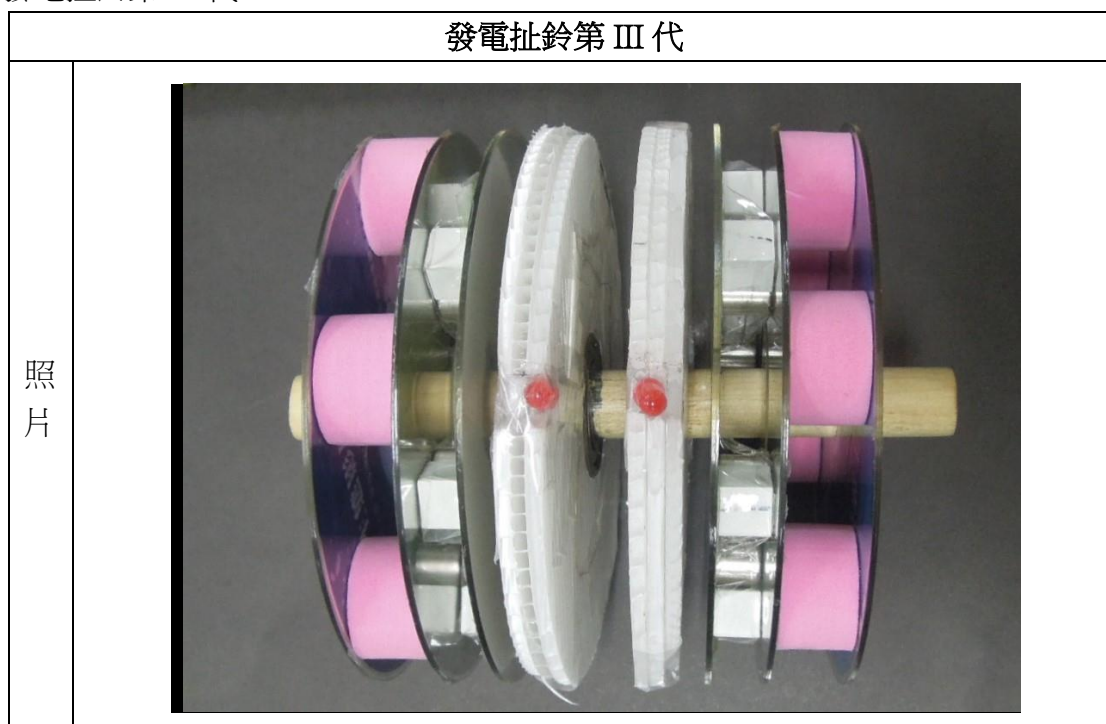
(二) 結果：

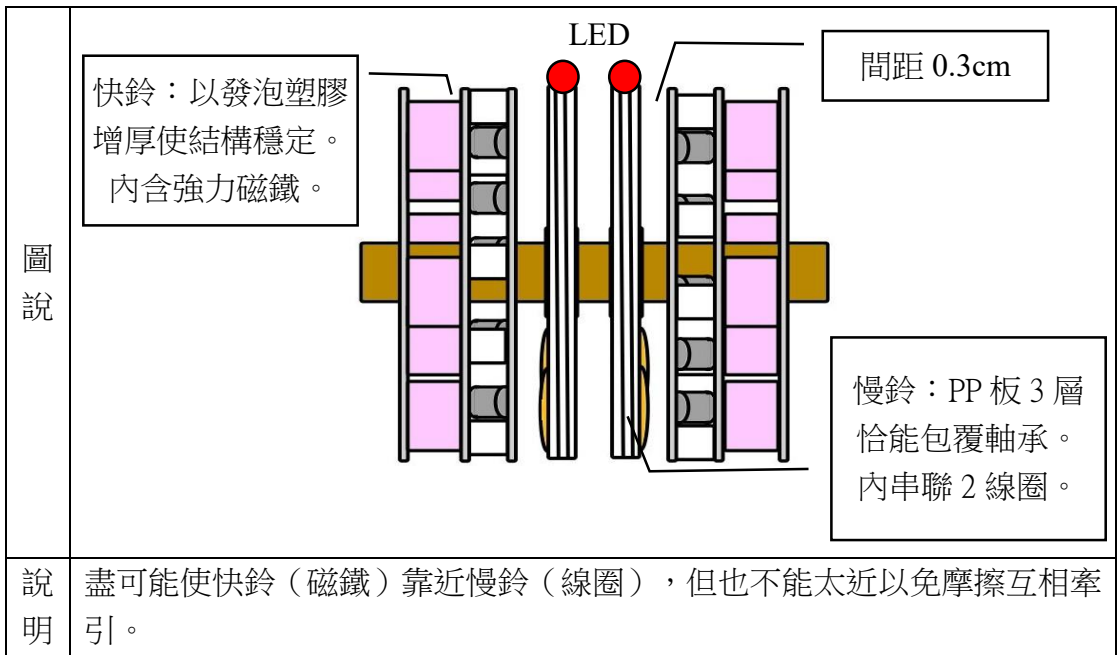
1. 發電扯鈴第Ⅲ代是否能點亮 LED：是



令人興奮的瞬間，我們的「鈴」「感」發光了！

2. 發電扯鈴第Ⅲ代：

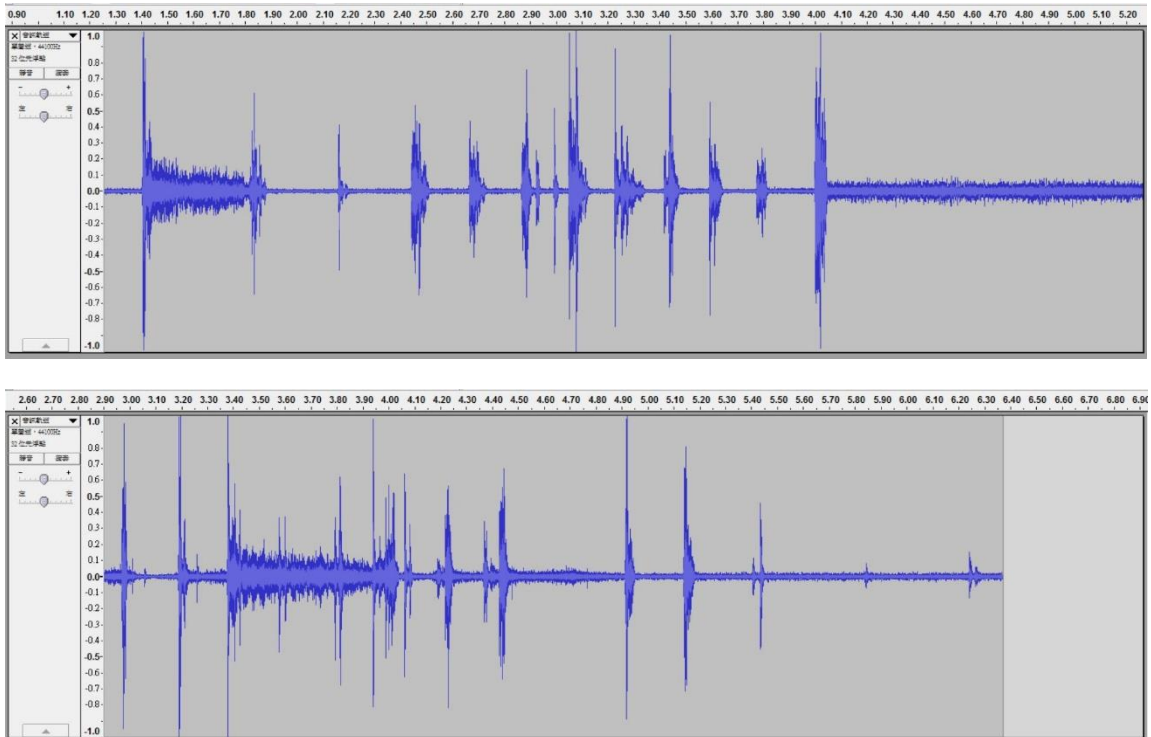


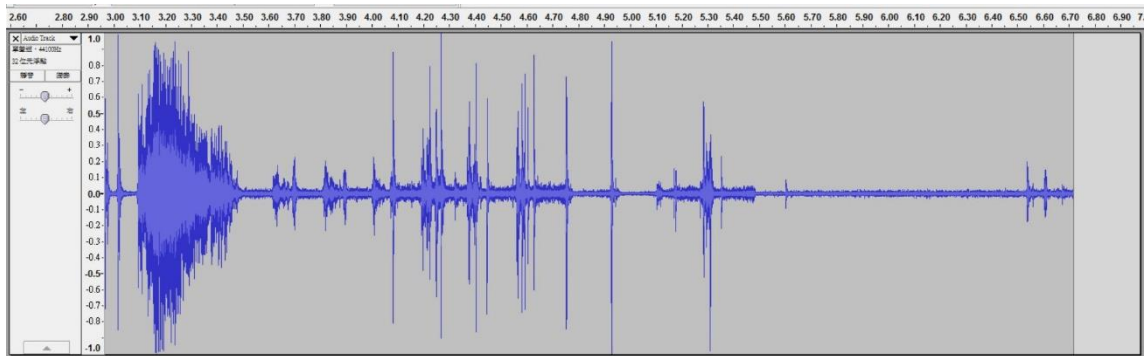


3. 發電扯鈴第 III 代一點亮 LED 時的快慢鈴速度差：當扯鈴速快慢鈴速度差約每秒轉 5.63 圈時即可點亮 LED。

次	一	二	三	平均
轉/秒	5.13	5.88	5.88	5.63

聲波截圖，利用聲波變化，與時間軸比對，算出轉速。





(三) 討論：

1. 發電扯鈴第 III 代：延續第 II 代的設計，我們將小墊片換成磁鐵，大墊片換成線圈。我們將線圈串聯為二，因為扯鈴轉速較慢，故希望能藉由增加線圈來彌補轉速的不足，使發電效能增加。
2. 快慢鈴速度差：扯鈴速度雖不快，肉眼仍是難以觀察。原本想利用視覺暫留的方式來觀察，無奈因干擾過大而捨棄；感謝第 52 屆國小生物組科展報告「視機而動」，利用聲音算速度，我們採取此法下載 Audacity 來錄音、辨識波形算出轉速。發現只要速度差到達每秒轉 5.63 圈時即可點亮 LED。基本上稍微一扯就能發亮，另小組感到滿意。
3. 市售發光扯鈴大都是裝電池來點亮 LED，本組研發的是內建簡易發電線圈來點亮 LED，希望不但能更環保，還能增進教育功能，更能增添我們生活樂趣！

伍、結論

一、扯鈴發電可行性

- (一)「速度差」：若要利用「電磁感應」來發電，那線圈與磁鐵勢必要有相對運動，我們挑戰扯鈴發電，就要讓同一個扯鈴能產生兩個速度。
- (二) 關鍵零件「軸承」：當我們觀察「市售培鈴」時，發現了「軸承」的構造。市售培鈴的「軸」與「鈴」速度不同。其實在一些溜溜球也有這樣的構造，其目的是為了加速、或是為了一些花式表演而設計。我們起初是注意到「軸承」可造成內外側的速度差；如此一來便有發電的可能性，故放膽一試。
- (三) 發電扯鈴第 I 代：我們設計了單側二鈴的裝置：「快鈴」與「慢鈴」。「快鈴」連接於軸，藉由拉扯直接加速；「慢鈴」則連接於軸承外側，可以自由轉動，無須與軸同步旋轉。
- (四) 發電扯鈴第 I 代 (1-6)：我們將「慢鈴」的一端加上 4 個大墊片，改變其重心位置，使「慢鈴」重心偏下，不易翻轉，如此可以造成明顯速度差。使得我們靠「發電」更進一步。
- (五) 以市售商品改裝：我們以市售扯鈴、小型發電機（內含「軸承」）組成發電扯鈴，試扯之下竟能發電！大大鼓勵了我們！

二、設計發電構造

- (一) 線圈圈數比較：我們實驗結果為 2000 圈 (5.40V) > 1000 圈 (3.00V) > 300 圈 (1.80V)。圈數的確是我們比較容易操作的，其中 2000 圈的漆包線尺寸與其餘不同，因為我們不希望將線圈纏繞過大、過重，故選擇較細的 0.17mm。
- (二) 線圈串聯數比較：實驗【九】結果為串聯三 (11.43V) > 串聯二 (11.30V) > 串聯一 (5.40V)，但還是因為重量的考量，我們選擇串聯二個 2000 圈的線圈。
- (三) 線圈串聯方式：串聯方式要配合磁鐵的排列，因我們的磁鐵為 NS 交錯排列，所以我們使用「頭接頭」串聯二個 2000 圈的線圈，詳閱實驗【五】。
- (四) 磁鐵盤設計：雖說磁力愈強理論上愈好，但是因為重量的考量，我們使用 6 個強力圓柱體磁鐵 (直徑 10mm，高 10mm) NS 交錯排列。
- (五) 線圈與磁鐵間距：實驗【六】結果為間距愈小發電效果愈好。2.5mm (1.80V) > 6.7mm (0.83V) > 13.7mm (0.43V)。
- (六) 線圈與磁鐵相對速度：我們測試發現如預測：速度愈快發電愈好。但「速度」卻是我們最傷腦筋的部分，因為扯鈴的速度並不快。

三、扯鈴結構改良

- (一)「軸」：經過塑膠針筒、奇異筆筆桿、木棒等測試，我們選擇了木棒。木棒易加工，可以故意用砂紙磨小一些容易組裝其他零件。塑膠則容易磨損。
- (二)「快鈴」：第 II 代直接用廢光碟，而第 III 代改用發泡塑膠增厚。既能使裝置於快鈴的磁鐵與慢鈴線圈的間距縮短，又能增加本身的穩定性。
- (三)「慢鈴」：第 II 代只用單一片 PP 板，第 III 代則加厚為三片，既可鑲入、保護線圈，又能增加穩定性。

四、「發電扯鈴」結果

- (一) 發電扯鈴第 I 代：成功發展出「快鈴」、「慢鈴」，在同一個扯鈴上能產生速度差。
- (二) 發電扯鈴第 II 代：延續第 I 代的優點外，縮短總軸長，使用廢光碟取代寶特瓶。加工更容易，穩定性更好。
- (三) 發電扯鈴第 III 代：將線圈磁鐵裝入，並適當改善結構，終於發電成功，點亮 LED！當快慢鈴速度差約每秒轉 5.63 圈時即可點亮 LED。

總結：市售發光扯鈴大都是裝電池來點亮 LED，我們研發出不用電池的發光扯鈴，不但更環保，富有教育功能，更能增添我們生活樂趣！從第 I 代到第 III 代，記錄了我們的各階段的突破。展望未來能利用 3D 列印將零件精緻化，相信能使結構更加完美，說不定還能成為商品呢！我們的靈感真的發光了！

陸、參考資料及其他

一、MAKING AN ELECTRICAL GENERATOR

<http://www.creative-science.org.uk/gen1.html>

二、有感而發。中華民國 49 屆全國科展。國小組物理科。

三、閃電二號--水平感應發電機之研究與應用中。中華民國 48 屆全國科展。國小組應用科學科。

四、視機而動—視覺暫留現象探討。中華民國 52 屆全國科展。國小組生物科。

五、磁力的秘密。中華民國 46 屆全國科展。國小組自然科。

六、超級發電王～設計一款實用的綠能發電設備。中華民國 53 屆全國科展。國小組生活與應用科學科。

七、電感與電磁

https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/control/tp_nh/ee/tp_nh/8/3.htm

八、維基百科：空竹、電磁感應、軸承

九、扯鈴問與答

<http://www.pcstore.com.tw/nickgolf/M05168026.htm>

十、東扯西扯一（扯鈴的研究）。中華民國 31 屆全國科展。國小組物理科。

十一、扯鈴真好玩。中華民國 28 屆全國科展。國小組物理科。

十二、節能減碳-波浪發電機模型之創作與應用。2012 台灣國際科展。工程學科。

十三、遊戲·[矽][油]-矽、粉末與沙的對話。中華民國 55 屆全國科展。國小組化學科。

【評語】 080804

1. 利用扯鈴的轉動加上磁鐵與線圈組以產生電能，可以推廣節能或綠能的觀念，值得鼓勵。
2. 利用快慢鈴的速度差產生電能是本作品的創意，值得鼓勵。
3. 相關機械能與電磁能的轉換與應用及利用速度差產生電能的研究可以和過去在其他應用（如：腳踏車）比較優劣。
4. 關於產生電能的部分，如何儲存或利用可以做進一步思考。