

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

探究精神獎

030103

「富」二代的秘密——探討鋁箔紙排列方式對富蘭克林馬達的影響

學校名稱：屏東縣立中正國民中學

作者：	指導老師：
國一 許詠勛	許哲愷
國一 曾程琳	洪得榮
國一 周致瑋	

關鍵詞：富蘭克林馬達、靜電、尖端放電

摘要

我們研究的內容，主要探討如何提升富蘭克林馬達轉速的組合，並深入探討多樣實驗項目。而我們也將部份實驗的數據繪製成趨勢圖，一來可看出我們的數據是否合理，二來還可看出我們是否真的有找到最高轉速組合。在實驗八，我們就也因此找到了更高轉速的電刷型式，經轉速測量後發現，與原先的趨勢推估幾乎吻合!這更是確定了我們實驗數據的真實正確性與合理性，也讓我們研究結果更完整。總結實驗發現，塑膠杯上鋁箔紙的大小、長度、寬度等，及電刷的寬度、高度、鋸齒數等都會影響轉速，因此我們從實驗結果歸納出轉速最佳的設計，成功設計出穩定且高轉速的富蘭克林馬達。期望在未來掌握富蘭克林馬達重要設計要素之後，能夠更深入探討其更多的應用。

壹、前言

一、研究動機

某次看電視時，看到一個「不用插電就可轉動的馬達」影片，電視中的馬達竟然不用插電就可以轉動，原來這叫富蘭克林馬達。這引起了我的興趣，並上網更進一步的搜尋製作方式。影片中的馬達製作起來看起來輕鬆又簡單，但實際操作起來時，卻發現並沒有想像中的容易。網路上有很多研究作品都是有關最高轉速的研究，但是我們發現仍有許多變因可探討，因此我們將資料蒐集完整後，會再探討的更詳細，並歸納出最好的組合方式。

二、研究目的、問題和架構

(一)研究目的:探討鋁箔紙排列方式對富蘭克林馬達轉速的影響

1. 塑膠杯上黏貼的鋁箔紙片數變因
2. 塑膠杯上的鋁箔紙傾斜角度變因
3. 塑膠杯上的鋁箔紙長度變因
4. 塑膠杯上的鋁箔紙寬度變因
5. 裝置中電刷尖端位置變因
6. 裝置中電刷橫向寬度變因
7. 裝置中電刷縱向寬度變因
8. 裝置中電刷齒數多寡變因
9. 裝置中電刷與馬達的擺放位置變因

(二)研究問題

1. 塑膠杯上黏貼的鋁箔紙片數是否會對馬達轉速產生影響?
2. 塑膠杯上的鋁箔紙傾斜角度是否會對馬達轉速產生影響?
3. 塑膠杯上的鋁箔紙長度是否會對馬達轉速產生影響?
4. 塑膠杯上的鋁箔紙寬度是否會對馬達轉速產生影響?
5. 裝置中電刷尖端位置是否會對馬達轉速產生影響?
6. 裝置中電刷橫向寬度是否會對馬達轉速產生影響?
7. 裝置中電刷縱向寬度是否會對馬達轉速產生影響?
8. 裝置中電刷齒數多寡是否會對馬達轉速產生影響?
9. 裝置中電刷與馬達的擺放位置是否會對馬達轉速產生影響?

(三)架構 (圖1)

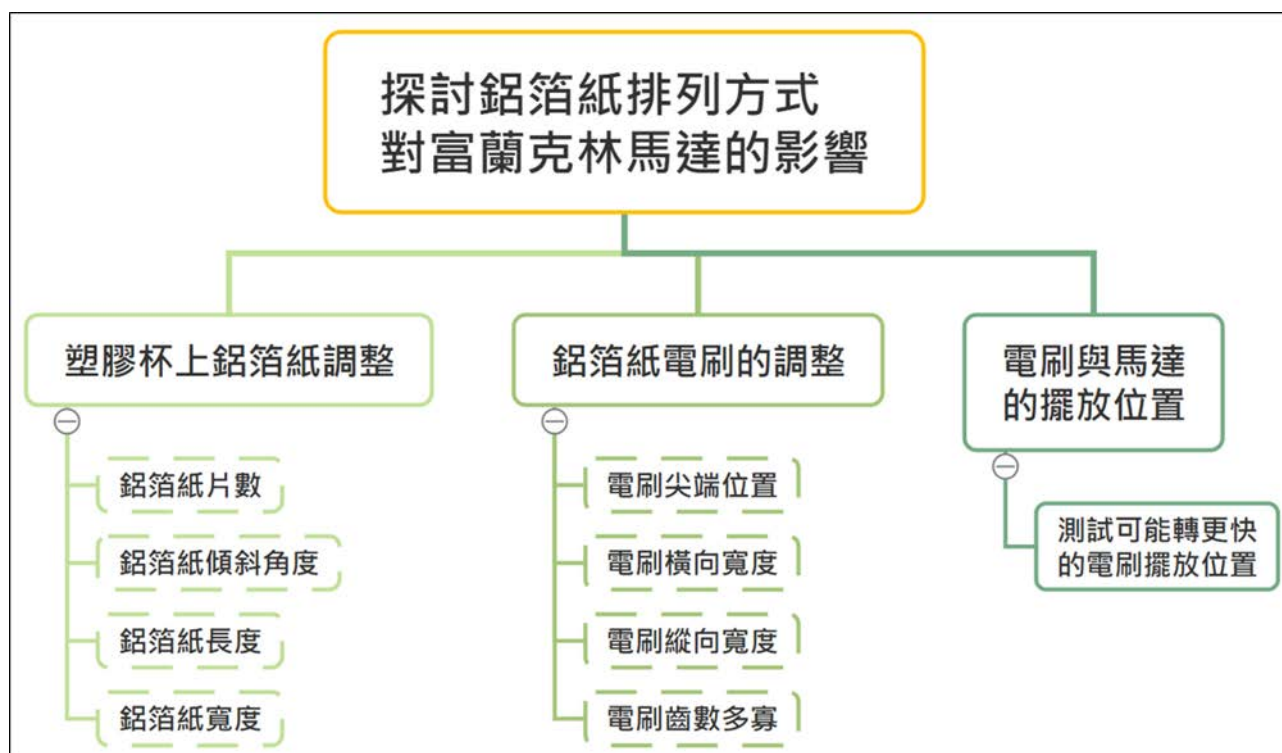


圖1、實驗架構圖

三、文獻回顧









(一)2020年全國科學探究競賽_國小組第三名_富蘭克林與靜電馬達

1. 此研究中進行實驗的靜電棒是使用電池，但電池在使用第一次後，無法確定之後每次釋放電壓皆保持相同。
2. 製作不夠精細，探究三中，塑膠杯上鋁箔紙黏貼高度並未完全相同;還有電刷也應保持平整，以減少實驗影響的變因。
3. 探究九改變杯子材質，同時也會影響杯子大小、重量等，無法確定是否為材質所造成的影響。

(二)設計最高轉速 Franklin moto

1. 此研究使用慢動作錄影，計算圈數時可能有疏失。
2. 實驗設計中有提到濕度較低較容易成功，所以我們會先使用除濕機降低至60%的濕度，再關閉除濕機進行實驗。
3. 馬達上的鋁箔黏貼精細，且實驗內容頗為完整。

貳、研究設備和器材

<p>塑膠杯</p> 	<p>鋁箔紙</p> 	<p>靜電棒</p> 	<p>電源供應器</p> 
<p>氣球棍</p> 	<p>轉速計</p> 	<p>溫濕度計(記錄用)</p> 	<p>計時器</p> 

參、研究過程或方法

一、原理

- (一)首先，靜電棒產生負電荷，接觸A電刷使電刷A充滿負電，而電刷A的鋸齒狀邊緣產生尖端放電，使A電刷的負電荷跳至塑膠杯上的鋁箔紙使其充滿負電。由於同性相斥，而推動塑膠杯旋轉產生力矩。(圖2-1)
- (二)當塑膠杯帶負電的鋁箔紙旋轉靠近B電刷時，由於靜電感應使得異性電荷相吸所以塑膠杯上鋁箔紙的負電荷會不停移動至B電刷，使鋁箔紙上電荷達到最初的状态。(圖2-2)
- (三)而此時B電刷上多餘的負電則經由接地線而流失達到平衡，並不斷重複以上步驟使馬達不斷轉動。(圖2-3)

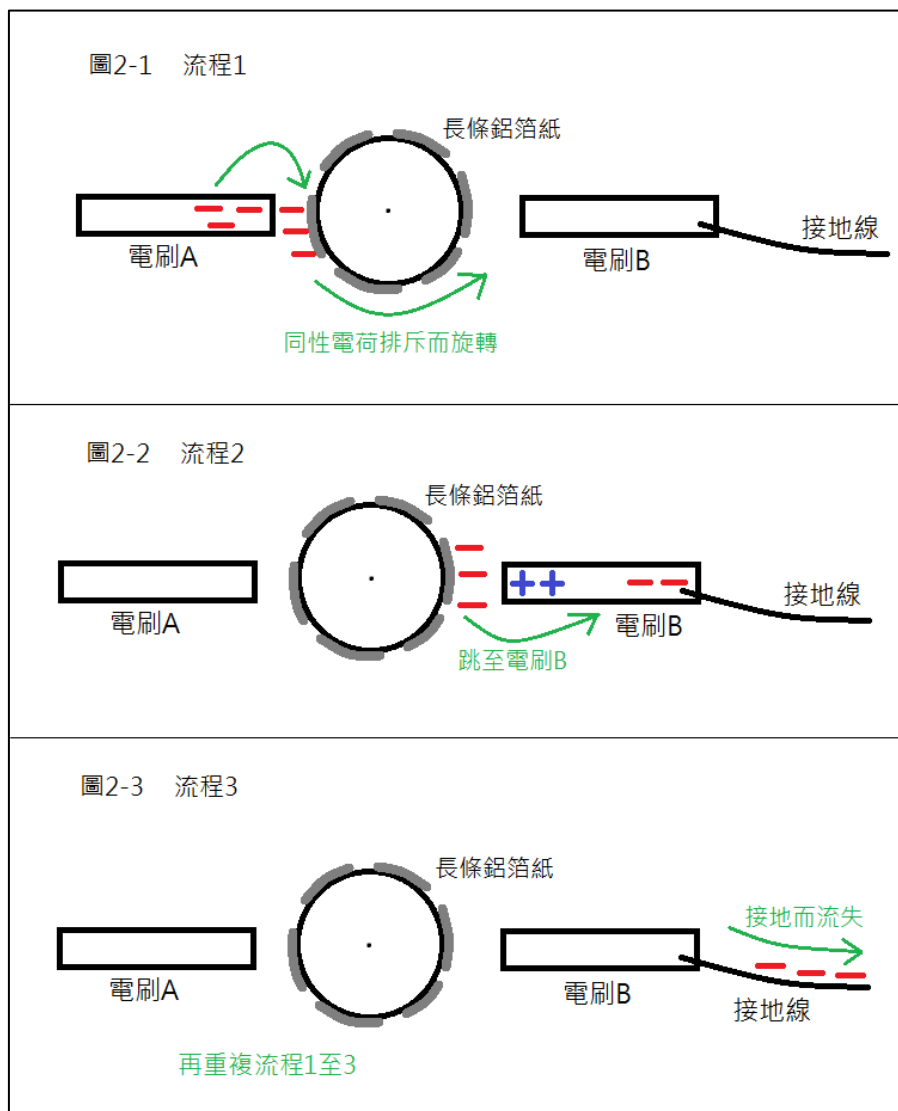


圖2-1~2-3、實驗原理示意圖

二、 實驗測量方法

(一)最高轉速測量

最高轉速指的是在給予相同電力、供給電力時間相同下，從開始轉動到完全停止之間出現的轉速最高值。本研究報告中皆以3V供電20秒(經簡略測試後，發現20秒即可達到一定的轉動效果)做為固定電量供給。

測量步驟:

- 1.在馬達開始轉動前，將轉速計的雷射光對準杯底的反光貼紙(杯底先黏貼黑紙再貼上反光貼紙，以避免其他反射干擾)。(圖3)
- 2.當馬達開始加速20秒，轉速計即可測量出馬達開始加速至停止之間，RPM的最高值。

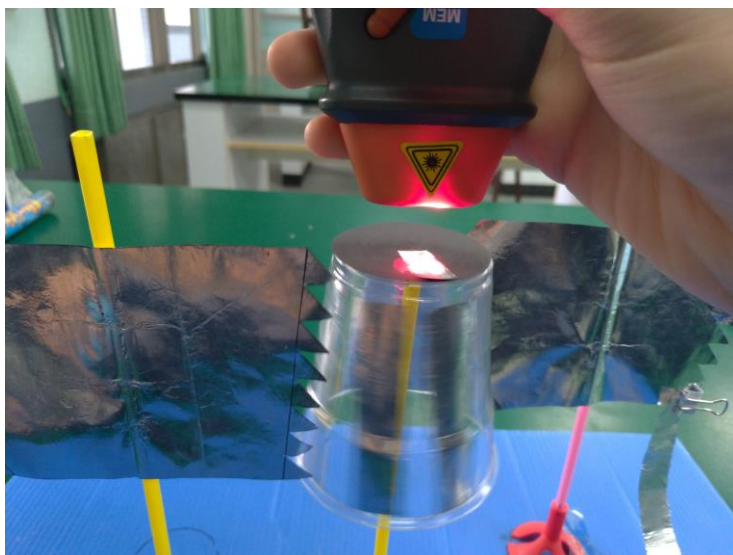


圖3、轉速計測量轉速情形

(二)電源供應的穩定

當靜電棒在使用多次後，靜電棒中電池的電力會耗損，則可能造成供電電壓不穩定的情況，造成實驗誤差。為減少實驗誤差，因此使用電源供應器取代電池，連接正負極的線至靜電棒，則可穩定供電。本研究報告中供電電壓皆以3V(一顆3號電池電壓為1.5V，靜電棒使用兩顆3號電池，故控制為3V電壓)做為固定電量供給。

(三)RPM值

RPM = revolutions per minute(平均每分鐘的轉動圈數)

三、 實驗器材製作

(一) 電刷製作

製作器材:鋁箔紙、氣球棍。

製作流程(以13x8公分大的電刷為例):

1. 裁剪出一張長13公分、寬8公分的鋁箔紙。
2. 依圖4的方式用簽字筆畫出框線，並剪下。(圖4)
3. 最後使用膠帶將電刷黏貼於氣球棍上(電刷的中心需對齊氣球棍)。(圖5)

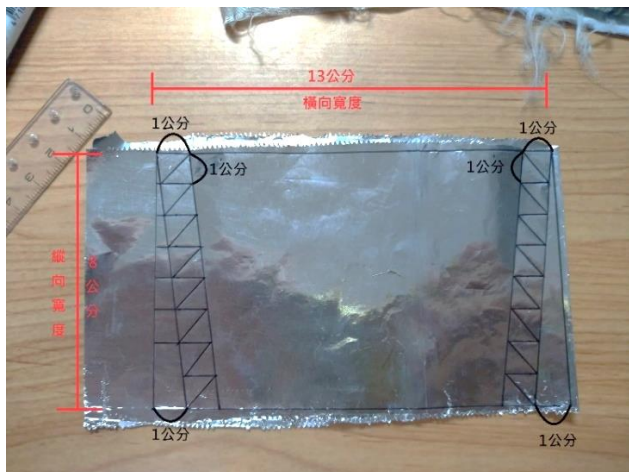


圖4、電刷的裁切
(13公分為橫向、8公分為縱向)



圖5、黏貼於氣球棍上的電刷

(二) 塑膠杯的鋁箔紙黏貼

製作器材:鋁箔紙、氣球棍。

製作流程(以7x1.5公分，總數8片的鋁箔為例):

1. 在鋁箔紙上用簽字筆畫出長7公分、寬1.5公分的鋁箔，並將其剪下。
2. 在塑膠杯的杯底及杯口平均間距畫上8個記號(因總數為8片)。(圖6)
3. 將鋁箔紙對其杯上的記號並用雙面膠黏貼。(圖7)



圖6、於杯底及杯口畫上8個記號



圖7、塑膠杯黏貼完成樣

(三) 富蘭克林馬達實驗原型

製作器材:塑膠杯、氣球棍、鋁箔紙、靜電棒。

說明:1.後續馬達裝置的實驗皆以馬達原型進行修改。(圖8)

- 2.靜電棒與接地線直接碰觸電刷。
- 3.兩側電刷與塑膠杯擺放位置根據可能產生的最大力矩進行擺放。(圖9)
- 4.兩側電刷與塑膠杯擺放距離依照前人研究出的結論(距離越近其轉速越大，但若距離過於靠近，杯體與電刷摩擦可能產生摩擦而損失能量，造成轉速降低)進行擺放。
- 5.馬達原型詳細資料如附表所示。(表1)

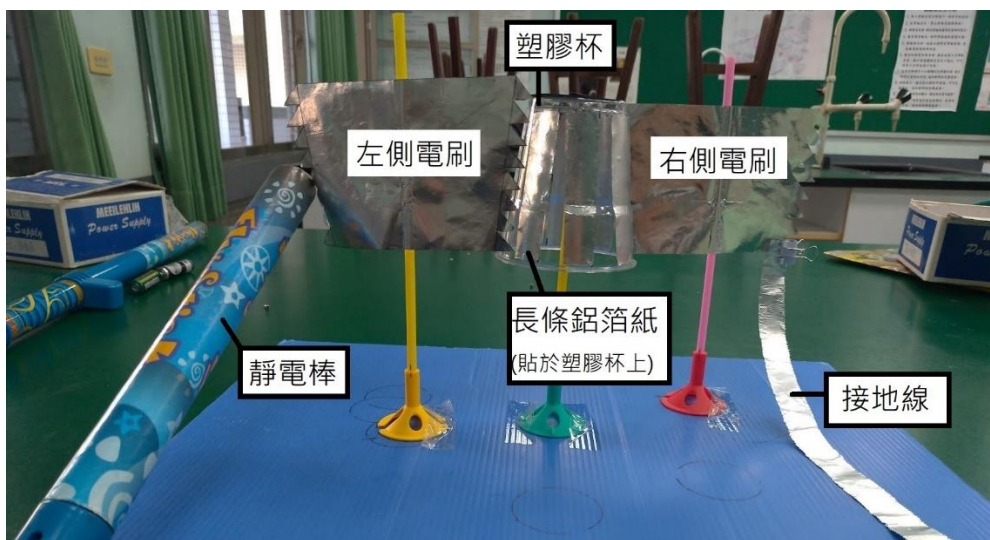


圖8、富蘭克林馬達原型完成圖

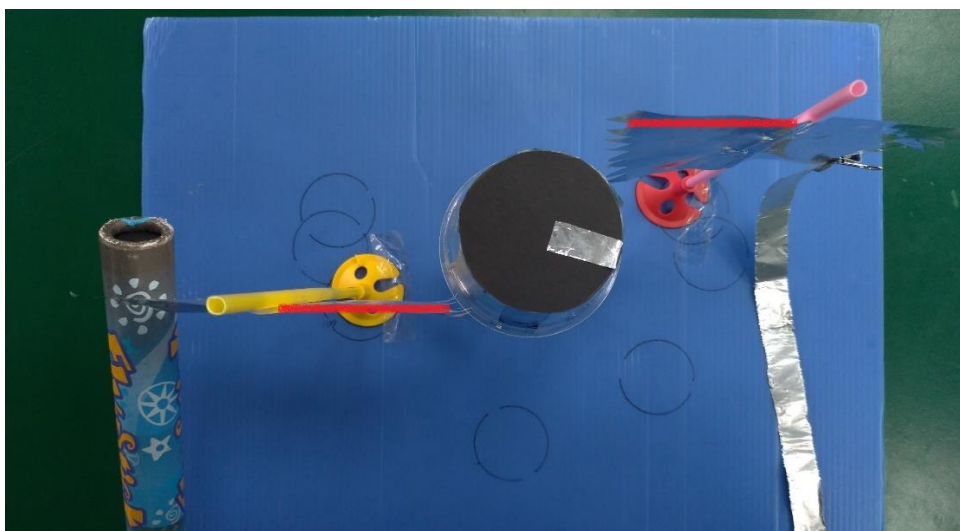


圖9、電刷擺放角度(依據可能產生的最大力矩進行擺放)

表1、富蘭克林馬達原型詳細製作資料

項目	說明	項目	說明
塑膠杯上的鋁箔紙的片數	8片(每片之間間距相等)	電刷尖端有無(左右兩側)	皆有
塑膠杯上的鋁箔紙的大小	長7公分 寬1.5公分	電刷大小(左右兩側)	長13公分 寬8公分
塑膠杯上的鋁箔紙的傾斜角度	與杯底垂直(90度)	電刷齒數(左右兩側)	皆為8齒

四、 實驗流程

[實驗1]馬達中塑膠杯上黏貼鋁箔紙片數產生轉動速度影響之探討

步驟1:分別取2片、4片、6片、8片7x 1.5公分的鋁箔紙各別以90度貼在不同塑膠杯上(每個杯子上鋁箔紙的間隔皆平均分配)。(圖10)

步驟2:測量馬達用靜電棒皆以3V供電20秒的情況下，每種黏有不同鋁箔片數的塑膠杯從馬達開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可比較出何組的轉動效果最佳。

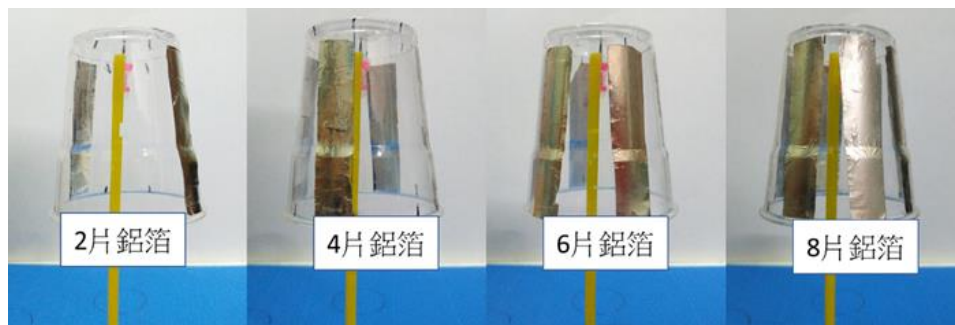


圖10、在塑膠杯上不同片數的鋁箔紙

[實驗2]塑膠杯上的鋁箔紙傾斜角度對於馬達轉速影響之探討

步驟1: 根據1-1實驗結果，以最佳轉動片數進行接續研究:先於塑膠杯杯上畫上記號，再各取8片7x1.5公分的鋁箔紙在各別以1對1(對照組90度)、1對2(80度)、1對3(70度)貼在不同塑膠杯上。(圖12)

註:角度的黏貼與劃記。首先，先在杯子的杯底與杯口等距畫上8個記號；再來，再根據實驗項目決定要黏貼的傾斜角度並劃記黏貼(圖13)。角度的測定是在鋁箔紙黏貼完成後用量角器所量測的。

步驟2:測量馬達用靜電棒皆以3V供電20秒的情況下，每種不同鋁箔黏貼角度的塑膠杯從馬達開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可比較出何組的轉動效果最佳。

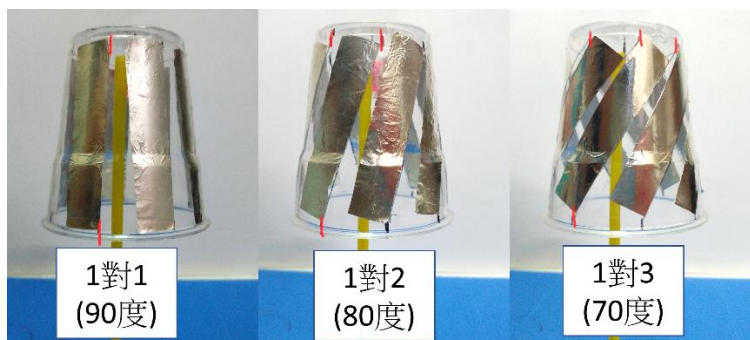


圖12、在塑膠杯上不同角度的鋁箔紙

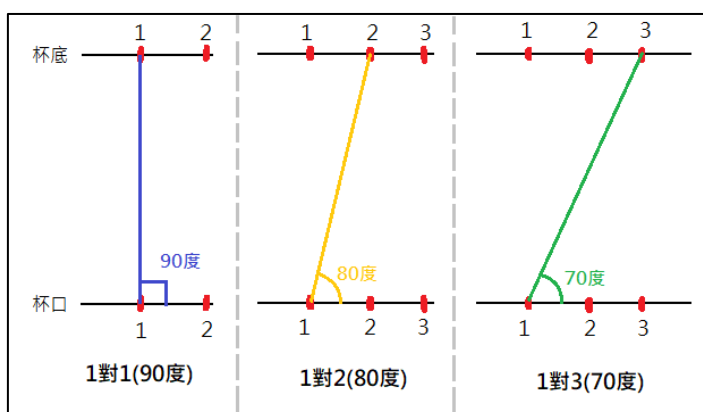


圖13、塑膠杯上黏貼鋁箔紙的傾斜貼示意圖

[實驗3]塑膠杯上的鋁箔紙長度對馬達轉速影響之探討

步驟1:分別取7x1.5公分、5x1.5、3x1.5、1x1.5的鋁箔紙8片各別以90度貼在不同塑膠杯上(每個杯子上鋁箔紙的間隔皆平均分配)。(圖14-1)

步驟2:測量馬達用靜電棒皆以3V供電20秒的情況下，每種黏有不同鋁箔片數的塑膠杯從馬達開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可比較出何組的轉動效果最佳。

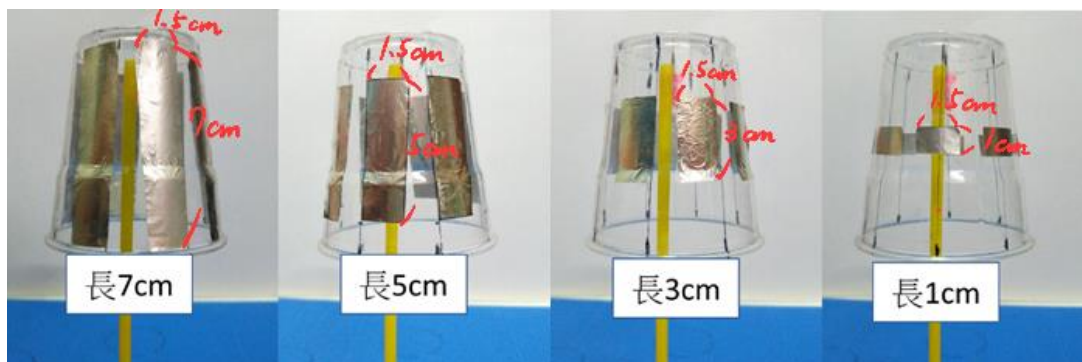


圖14-1、在塑膠杯上不同長度的鋁箔紙

[實驗4]塑膠杯上的鋁箔紙寬度對馬達轉速影響之探討

步驟1:分別取7x2公分、7x1.5公分、7x1、7x0.5的鋁箔紙8片各別以90度貼在不同塑膠杯上
(每個杯子上鋁箔紙的間隔皆平均分配)。(圖14-2)

步驟2:測量馬達用靜電棒皆以3V供電20秒的情況下，每種黏有不同鋁箔片數的塑膠杯從馬達開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可比較出何組的轉動效果最佳。

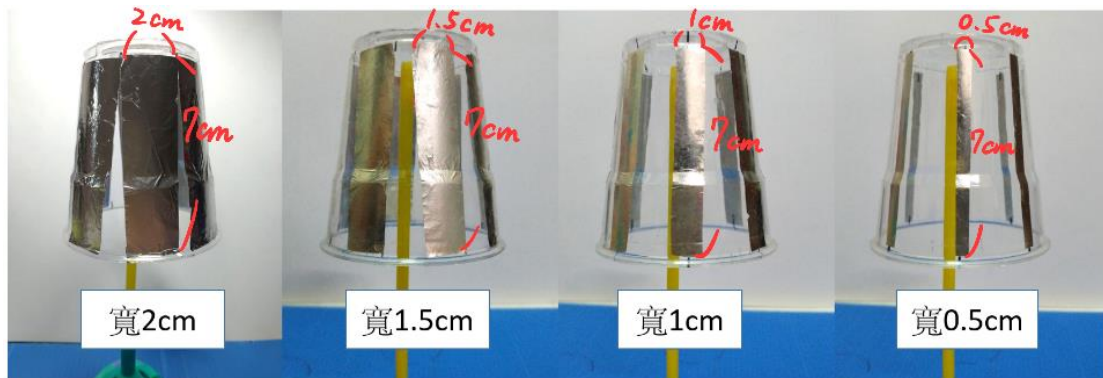


圖14-2、在塑膠杯上不同寬度的鋁箔紙

[實驗5]裝置中的電刷尖端位置影響裝置轉動效果之探討

步驟1:設計出幾組尖端位置不同的電刷(圖15、圖16)

步驟2:逐一將裝置中電刷改為設計好的A、B、C、D、E、F、G、H組，並分別以3V供電20秒及測量每組馬達從開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM值最高，即可分析出電刷尖端的位置對馬達轉速造成的影響。

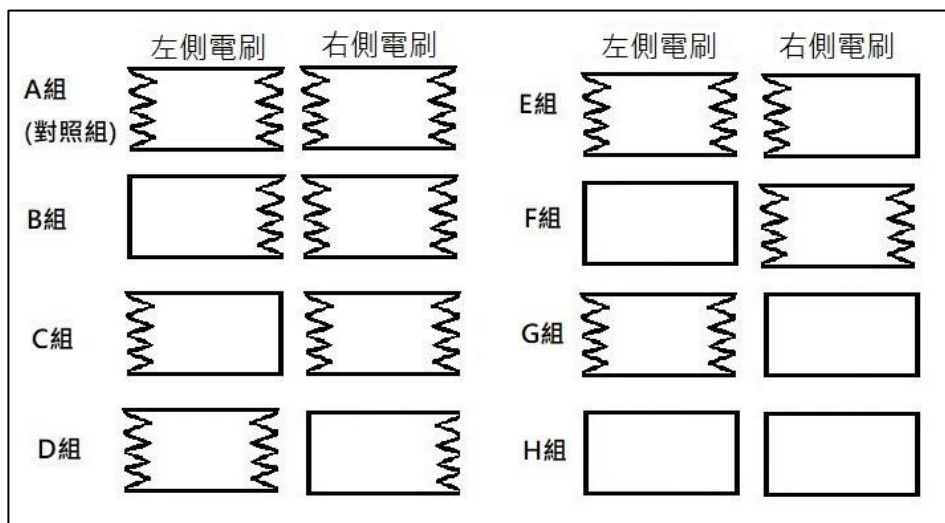


圖15、電刷尖端位置實驗設計示意圖

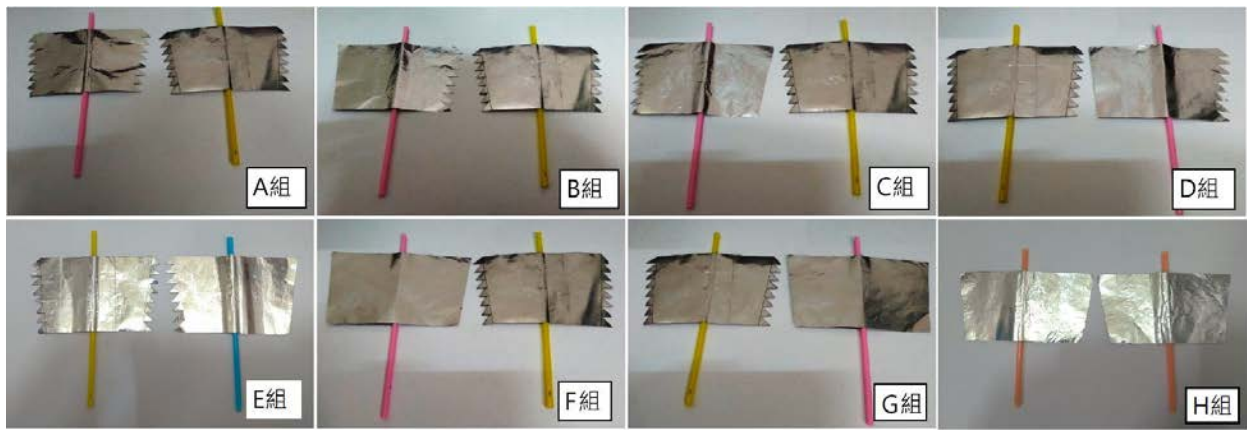


圖16、尖端分別位於不同位置的電刷

[實驗6]裝置中電刷橫向寬度影響裝置轉動效果之探討

步驟1:分別製作9x8公分、11x8公分(對照組)、15x8公分的電刷(圖17)

步驟2:逐一將裝置中電刷改為9x8公分、11x8公分(對照組)、15x8公分的電刷，並分別以3V供電20秒及測量每組馬達從開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可分析出電刷橫向寬度對馬達轉速造成的影響。

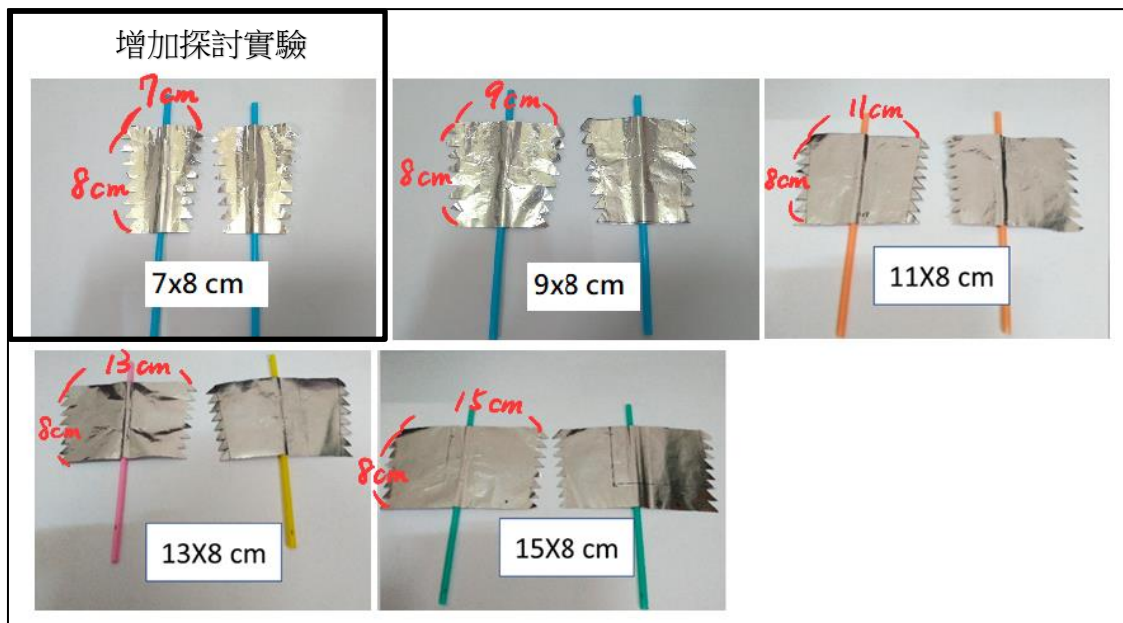


圖17、不同橫向寬度的電刷

[實驗7]裝置中電刷縱向寬度影響裝置轉動效果之探討

步驟1:分別製作縱向寬度15x10公分、15x8公分(對照)、15x6公分的電刷(圖18)

步驟2:記錄每組馬達各別以3V供電20秒的情況下，各組從開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可分析出電刷縱向寬度對馬達轉速造成的影響。

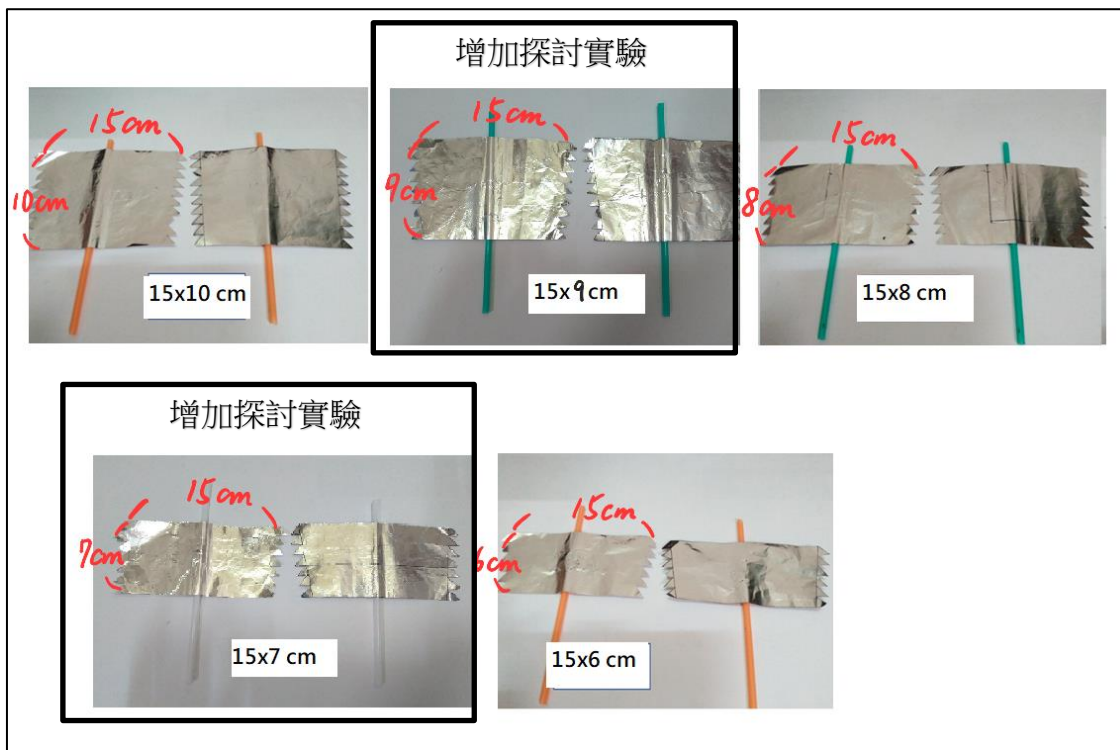


圖18、不同縱向寬度的電刷

[實驗8]裝置中電刷齒數多寡影響裝置轉動效果之探討

步驟1:將每組長15寬8的電刷，分別裁切為16齒、8齒、4齒、2齒的邊緣齒數(圖19)

步驟2:記錄每組電刷各別以3V供電20秒的情況下，馬達從開始加速至停止之間，RPM的最高值。

步驟3:比較何組RPM的值最高，即可分析出電刷齒數多寡對馬達轉速造成的影響。

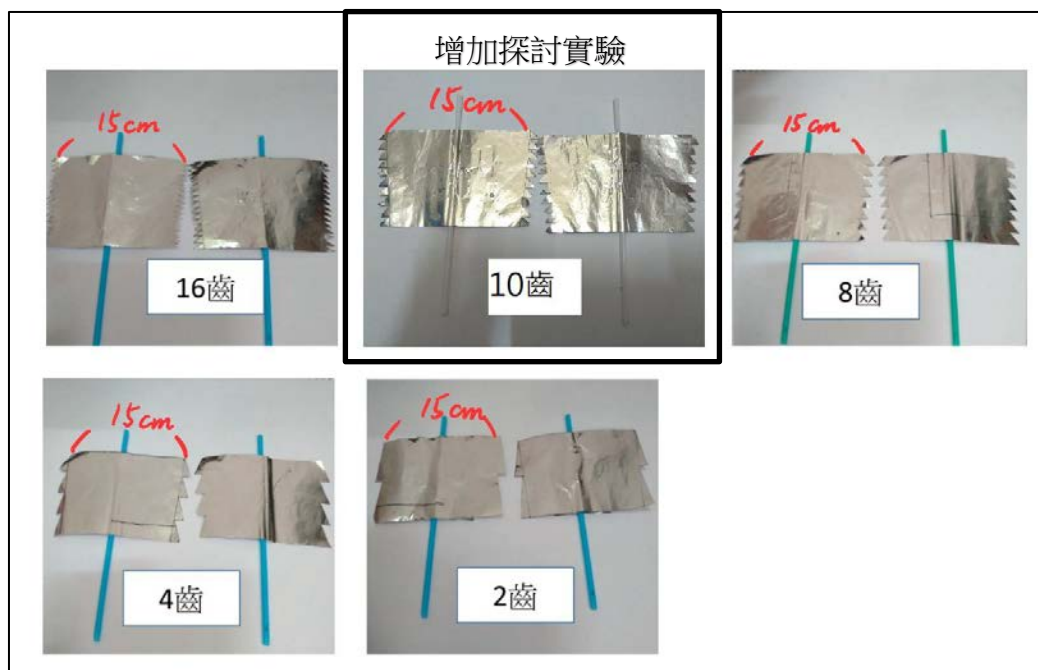


圖19、不同齒數的電刷

[實驗9]電刷與馬達的擺放位置影響轉動效果之探討

步驟1:設計出幾組電刷與馬達之間的擺放角度(圖20、圖21)

步驟2:逐一測量每組皆在以3V供電20秒的情況下，測試各組從開始加速至停止之間，記錄RPM的最高值及轉動狀況。

步驟3:比較各組RPM的值，即可分析出電刷與馬達的擺放位置角度對馬達轉速造成的影響。

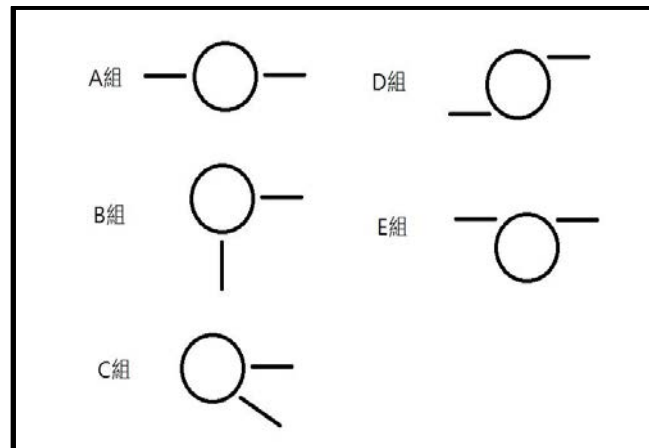
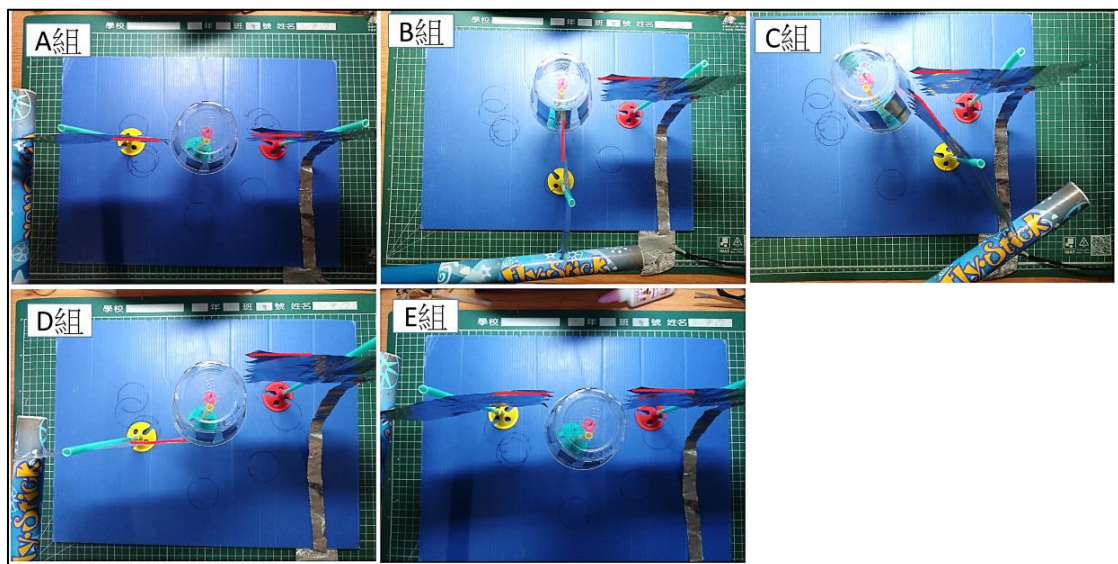


圖20、電刷與馬達之間的擺放角度實驗設計

(註:直線分別代表兩側電刷，圓形代表塑膠杯)



▲圖21、電刷與馬達之間各種擺放位置(A~E組)

肆、研究結果

一、馬達中塑膠杯上黏貼鋁箔紙片數產生轉動速度影響之探討 (表2、圖22)

表2、鋁箔紙片數對馬達轉動速度影響之實驗數據

次數 \ 鋁箔片數 rpm值	2片	4片	6片	8片
1	113	215.7	202.3	217.2
2	112.6	137.5	193.3	238.2
3	101	147.5	225.5	202.2
4	99.8	133.7	235.9	219.2
5	110.1	163.2	170.4	271.7
6	91.5	176.3	165.3	274.4
7	130	156.6	202.1	239.9
8	96.3	163.3	213.3	259.2
9	105.9	172.2	195	231.2
10	92.5	155.5	194.9	256
平均	105.27	162.15	199.80	240.92
轉動情形	穩定	穩定	穩定	穩定

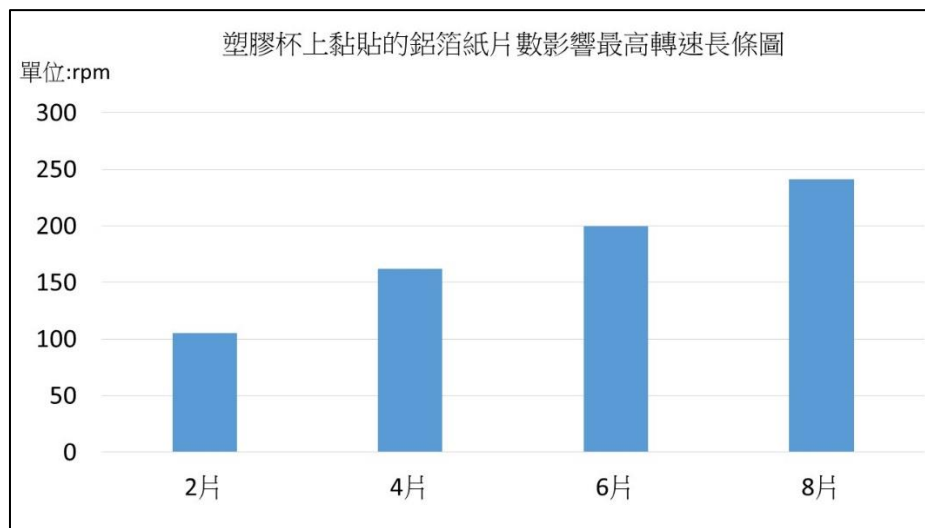


圖22、塑膠杯上黏貼的鋁箔紙片數影響最高轉速長條圖

實驗一小結與討論:

1. 從2片到8片之間，可以看出片數越高轉速越快。
2. 此實驗可看出貼8片的鋁箔紙效果最佳。
3. 根據圖表推斷，片數少的杯子可能因為間距過大而導致不易加速；但若在將片數提高至10片，鋁箔之間則會重疊在一起，導致馬達無法轉動。

二、塑膠杯上的鋁箔紙傾斜角度對於馬達轉速影響之探討 (表3~圖23)

表3、鋁箔紙傾斜角度對馬達轉動速度影響之實驗數據

傾斜角度 次數 rpm值	1對1(90度)	1對2(80度)	1對3(70度)
1	217.2	136.7	0
2	238.2	133.5	0
3	202.2	117.6	0
4	219.2	117.4	0
5	271.7	125.3	0
6	274.4	107.1	0
7	239.9	127.8	0
8	259.2	117.8	0
9	231.2	120.9	0
10	256	114.7	0
平均	240.92	121.88	0
轉動情形	穩定	穩定	無法轉動

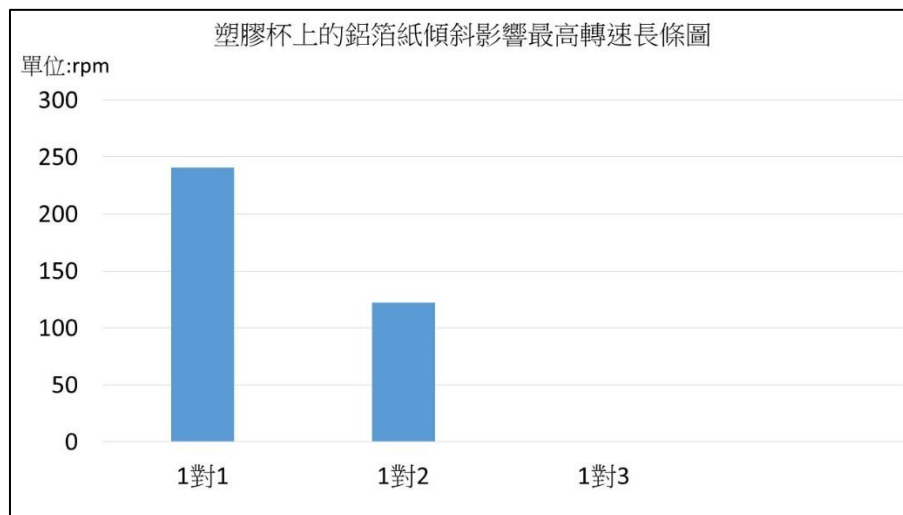


圖23、塑膠杯上黏貼的鋁箔紙傾斜角度影響最高轉速長條圖

實驗二小結與討論:

1. 1對1到1對3之間以1對1效果最佳，推測有可能是因為1對1的貼法鋁箔彼此間有保持適當的距離，因此靜電較不會在塑膠杯上的相鄰鋁箔間移動。
2. 因為1對2的鋁箔紙間隔相較1對1較近，以致些微靜電直接跳到另一片鋁箔紙上，因此轉速些微下降。而1對3則因距離過近甚至重疊，靜電會直接跳到另一片鋁箔紙上，而無法轉動。

三、塑膠杯上的鋁箔紙長度對馬達轉速影響之探討 (表4、圖24)

表4、鋁箔紙長度對馬達轉動速度影響之實驗數據

次數 \ 鋁箔長度 rpm值	7公分	5公分	3公分	1公分
1	217.2	188.4	131.6	90.9
2	238.2	191.4	123.9	90.8
3	202.2	188.8	129.3	61.3
4	219.2	187.7	131.5	61.3
5	271.7	197.8	125.3	77
6	274.4	173	125.5	99.9
7	239.9	186.6	126.5	137.8
8	259.2	182	137.3	110
9	231.2	176.7	135.7	99.9
10	256	188.4	132.8	81.1
平均	240.92	186.08	129.94	91.00
轉動情形	穩定	穩定	穩定	不穩定

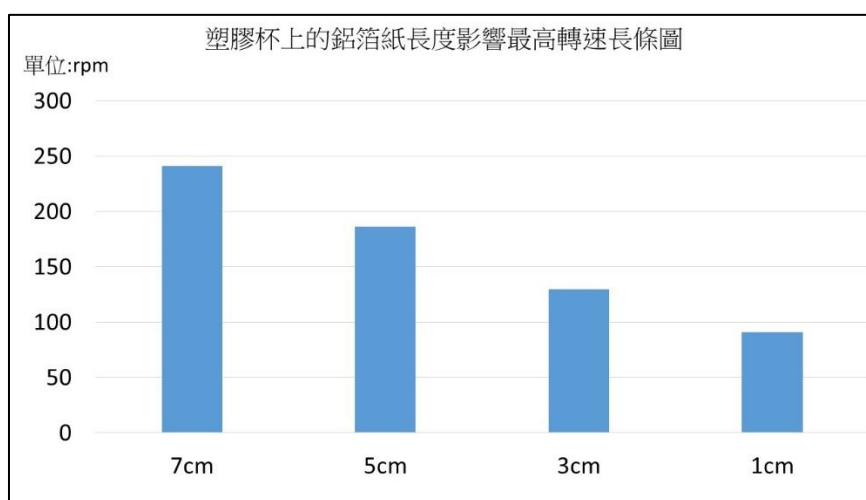


圖24、塑膠杯上黏貼的鋁箔紙長度影響最高轉速長條圖

實驗三小結:

1. 在塑膠杯上鋁箔紙長度1公分至7公分之間，以7公分長的鋁箔紙轉速最快，推測可能是因為鋁箔紙受力較平均的關係。
2. 推測長5公分、3公分、1公分的鋁箔紙可能因鋁箔紙長度較短導致受力不平均而造成轉速呈下降趨勢。如圖25，若貼較短的鋁箔紙，如圖左，受力不平均可能導致轉動不穩；貼較長的鋁箔紙，如圖右，受力較平均，轉動可更為順利。

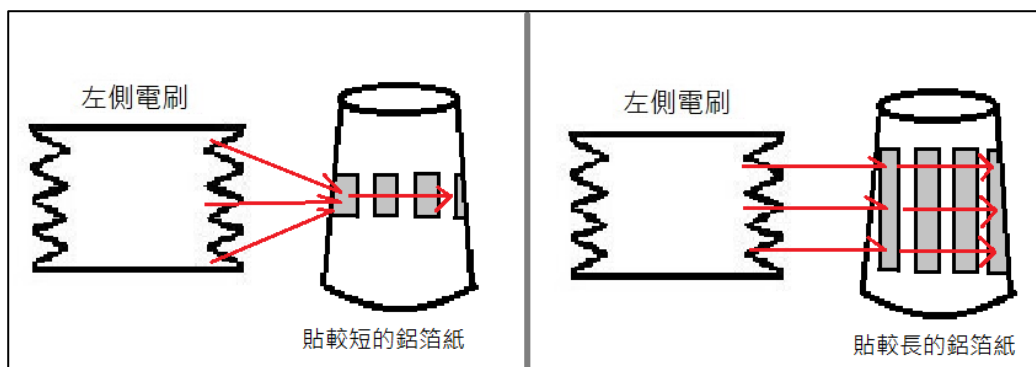


圖25、鋁箔紙受力平均與不平均示意圖

(紅線代表靜電移動方向，灰色區塊代表塑膠杯上黏貼的鋁箔紙)

四、塑膠杯上的鋁箔紙寬度對馬達轉速影響之探討 (表5、圖26)

表5、鋁箔紙寬度對馬達轉動速度影響之實驗數據

次數 \ 鋁箔寬度 rpm值	2公分	1.5公分	1公分	0.5公分
1	0	217.2	155.7	14.7
2	0	238.2	143.2	16.1
3	0	202.2	157.4	16.2
4	0	219.2	100.1	-
5	0	271.7	152.5	-
6	0	274.4	112.1	-
7	0	239.9	118.9	-
8	0	259.2	161.2	-
9	0	231.2	180.2	-
10	0	256	164.9	-
平均	0	240.92	144.62	15.70
轉動情形	無法轉動	穩定	穩定	不穩定

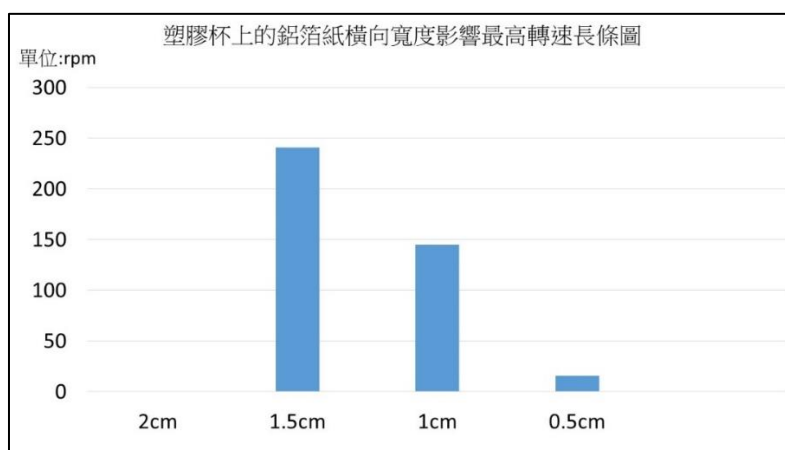


圖26、塑膠杯上黏貼的鋁箔紙寬度影響最高轉速長條圖

實驗四小結與討論:

1. 寬度2到0.5公分寬度的鋁箔紙之間，以寬度1.5公分的鋁箔紙效果最佳，推測可能是因為能夠儲存的靜電較多，因此能產生較大排斥力的緣故。而2公分寬的鋁箔紙則因為鋁箔距離過近，導致靜電直接從杯子上傳輸過去，無法產生累積並排斥的動作，因而無法轉動。
2. 0.5公分寬的鋁箔紙由於轉動不穩，以致數據無法準確測量，而誤差更大的值則有可能影響整體數據之走向，故表格中使用橫線代替。
3. 而0.5公分寬的鋁箔紙轉動不穩可能是因為鋁箔之間間隔太遠，再加上能累積的靜電量又少，因此只能與左側電刷產生較弱的排斥力，轉動不到右側電刷時，就可能因產生力量不足而慢下來，此時杯子上的其他片鋁箔可能才慢慢轉至左側電刷的位置，並再一次產生排斥力轉動，如此斷斷續續地轉動才會使的馬達轉動不穩。

五、裝置中的電刷尖端位置影響裝置轉動效果之探討 (表6、圖27)

表6、電刷尖端位置對馬達轉動速度影響之實驗數據

組別 次數 rpm	A組	B組	C組	D組	E組	F組	G組	H組
1	217.2	164.2	75.8	59.9	233.7	68.7	36.2	0
2	238.2	166.5	56.1	35.4	252	62.4	49.6	0
3	202.2	157	87.7	64.1	246.2	62.3	52.6	0
4	219.2	165.5	56.5	59	234.8	52.7	34.3	0
5	271.7	141.8	70.3	60.2	240.7	54.5	47.3	0
6	274.4	159	68.8	58.4	237.2	52.4	57	0
7	239.9	141.6	76.5	46	221.5	34.7	66.2	0
8	259.2	158.9	77.8	37.6	235.5	57.3	50.3	0
9	231.2	149.9	68.3	39.4	246.5	53.6	47.2	0
10	256	144.3	77.6	34.8	244.8	55.4	33.3	0
平均	240.92	154.87	71.54	49.48	239.29	55.4	47.4	0
轉動情形	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定	不穩定	不穩定	無法轉動

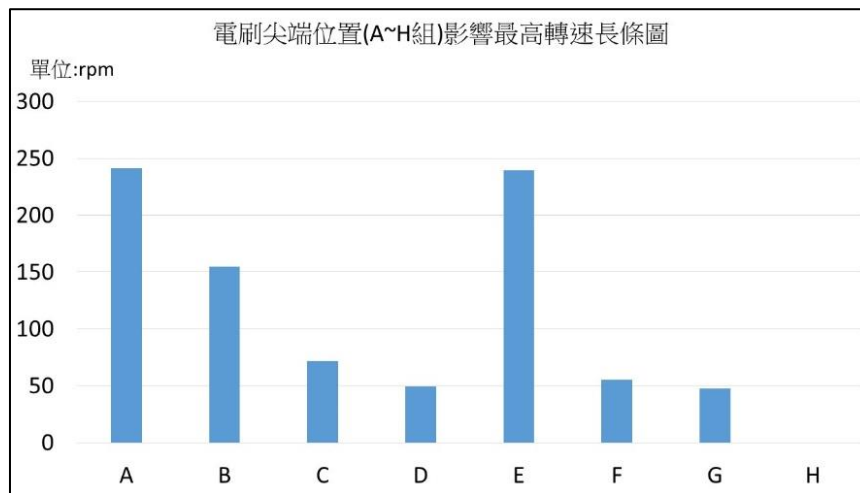


圖27、電刷尖端位置影響最高轉速長條圖

實驗五小結與討論:

1. A組兩側皆有鋸齒尖端，為8組中轉速最高者，推測原因為能產生較好的尖端放電效果。
2. B組轉動速度有些微下降，推斷是左側可接收靜電的地方無尖端。
3. C、D組可能因為靜電的放電與接收處皆為平整，尖端放電效果不佳，導致轉速較低。
4. 由於E組最右側邊緣因直接連接接地線，靜電主要是藉由接地線排開，因此與A組轉速相近，不受最右側平整的影響。
5. F組綜合了B、C組的特點，導致轉速會比B、C組更低，而此也再次驗證，不管是接收電或是放電之處都應該為鋸齒狀較好。
6. G組綜合了D、E組的特點，由於右側電刷的右側平整並不影響轉速，因此G組轉速與D組相近。
7. H組因為無任何鋸齒邊緣設計，因此尖端放電的效果極差，甚至無法轉動。
8. 由此實驗可知，不管是接收電或是放電之處都應該為鋸齒狀才能使馬達轉動更順暢。

六、裝置中電刷橫向寬度影響裝置轉動效果之探討 (表7、圖28、圖29)

表7、電刷橫向寬度對馬達轉動速度影響之實驗數據(綠色框線內為增加探討實驗)

橫向寬度 次數 rpm值	15公分	13公分	11公分	9公分	7公分
1	371.7	253	153.5	98.7	94.2
2	338.7	285.1	182.8	112.1	95.6
3	340	283.3	157.6	94.5	91
4	340.4	285.2	175.5	74.9	88.7
5	373.1	244.2	159.6	79.3	84.8
6	377.4	247	156.6	92.4	86.1
7	367.5	253.6	175.3	85.5	99.6
8	382.4	246.8	166.9	97.5	95.9
9	381.1	237	173.5	169.9	82
10	378	232.3	176.2	158.6	84.6
平均	365.03	256.75	167.75	106.34	90.25
轉動情形	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

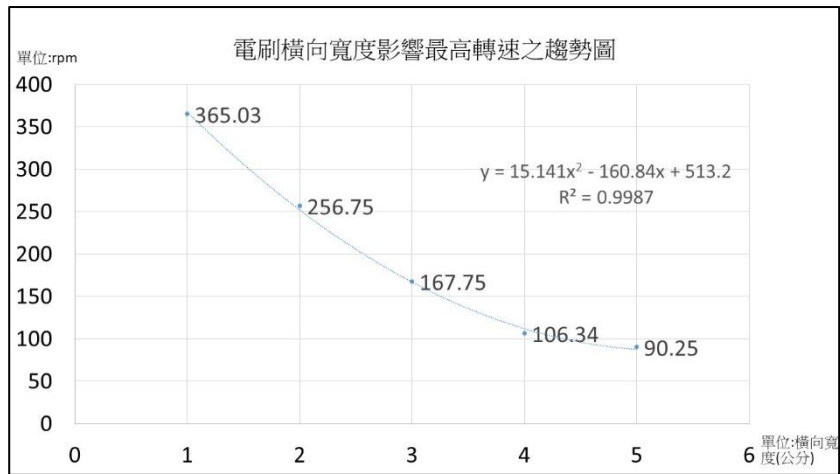


圖28、電刷橫向寬度影響最高轉速之趨勢圖

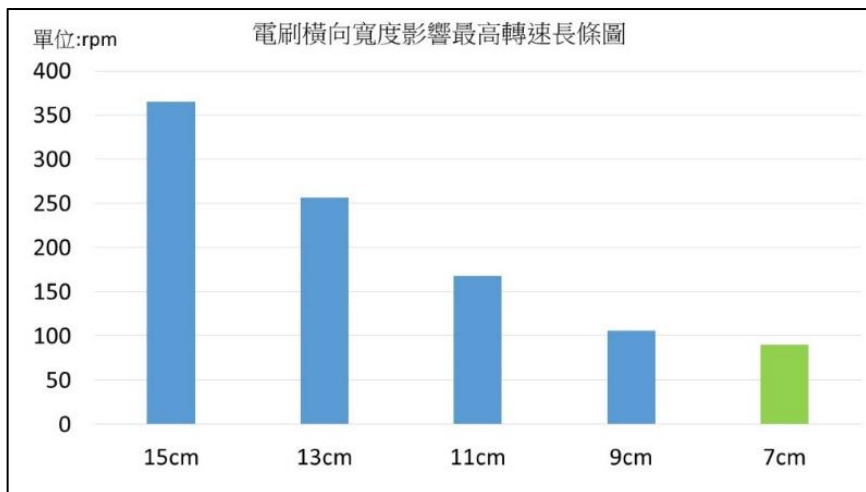


圖29、電刷橫向寬度影響最高轉速長條圖(綠色部分為增加探討實驗)

實驗六小結與討論:

1. 依照圖29的趨勢來看，電刷的橫向寬度越小，轉速越慢，因此我們又再新增了橫向寬度7公分的實驗，完成後再次套回原先的趨勢圖中，發現符合趨勢推估，再次提升了此實驗的完整性。
2. 電刷橫向寬度在15至7公分中，以15公分寬的電刷效果最佳。
3. 推測較長的電刷可能因空間較大，靜電比較不會太快積滿整片電刷，此時靜電能再跳離開電刷，便會使電刷更快恢復至原始狀態，因此能使馬達轉動的效果更佳。

七、裝置中電刷縱向寬度影響裝置轉動效果之探討 (表8、圖30、圖31)

表8、電刷縱向寬度對馬達轉動速度影響之實驗數據(綠色框線內為增加探討實驗)

縱向寬度 次數 rpm值	10公分	9公分	8公分	7公分	6公分
1	94.1	270.8	371.7	311.8	182.9
2	96.3	247.7	338.7	327.1	203.4
3	110.9	290.3	340	306	169.4
4	97.4	245.5	340.4	324.1	184.3
5	88.4	282.5	373.1	327.4	171.3
6	97	272	377.4	328.1	174
7	109.7	262.3	367.5	317.9	174.6
8	118.2	236.1	382.4	343.7	189.6
9	86.2	290.5	381.1	344.1	182.2
10	96.6	298.2	378	313.8	175.7
平均	99.48	269.59	365.03	324.4	180.74
轉動情形	不穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

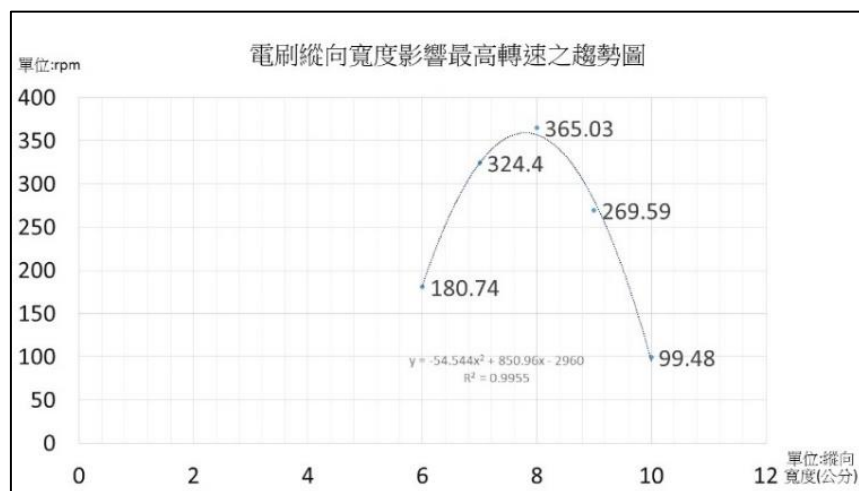


圖30、電刷縱向寬度影響最高轉速之趨勢圖

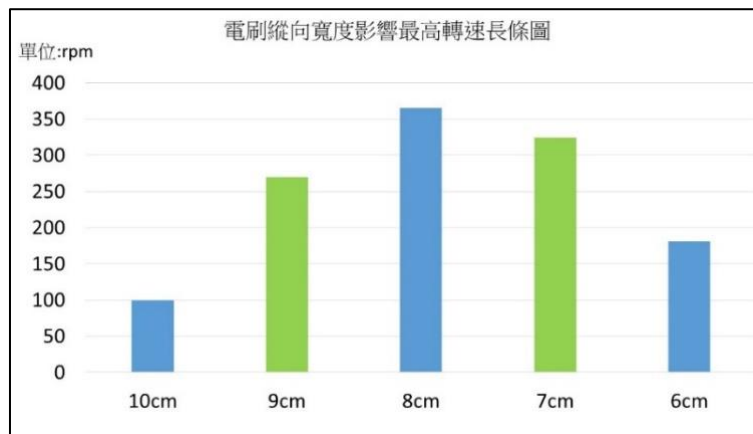


圖31、電刷縱向寬度影響最高轉速長條圖

(綠色部分為增加探討實驗)

實驗七小結與討論:

1. 依照圖31的趨勢來看，電刷的縱向寬度所造成的轉速最高峰大約是在電刷縱向寬度8公分左右，但為了避免實際的高峰可能在縱向寬度10~8公分間或8~6公分間，因此我們再增加了縱向寬度9公分及7公分的實驗，發現仍符合原趨勢圖的推估，再次提升了此實驗的完整性。
2. 電刷縱向寬度10到6公分之間，以8公分轉速最快。推測可能是因為電刷縱向寬度與杯子較相近受力比較平均的緣故。
3. 10公分寬的電刷轉動時發現會不穩，可能是因為電刷的縱向長度大於杯子的長度，導致電刷對塑膠杯上的鋁箔產生的受力方向不一致所造成的。
4. 若依照以上結果推論，與杯子高度最接近的(受力較平均)7公分這組應該是會比8公分還要高才對，但根據加做實驗後的結果，仍為8公分的效果為佳，這可能與電刷的齒數有關，因此我們繼續進行實驗八探討電刷齒數的部分。

八、裝置中電刷齒數多寡影響裝置轉動效果之探討 (表9、圖32、圖33)

表9、電刷齒數多寡對馬達轉動速度影響之實驗數據(綠色框線內為增加探討實驗)

電刷齒數 rpm值	16齒	10齒	8齒	4齒	2齒
1	201.6	404.4	371.7	205.9	94.7
2	243.2	399.5	338.7	205.7	78.7
3	235.5	391	340	227	58.2
4	258.8	372.6	340.4	234.1	74.1
5	269.1	394	373.1	245.4	16.5
6	261.1	396.3	377.4	254.6	98.3
7	256.4	415.1	367.5	287.8	87.7
8	280.5	405.5	382.4	285	79.8
9	274.9	389.2	381.1	261.4	60.8
10	211.5	391.2	378	272.7	73
平均	249.26	395.88	365.03	247.96	72.18
轉動情形	穩定	穩定	穩定	穩定	不穩定

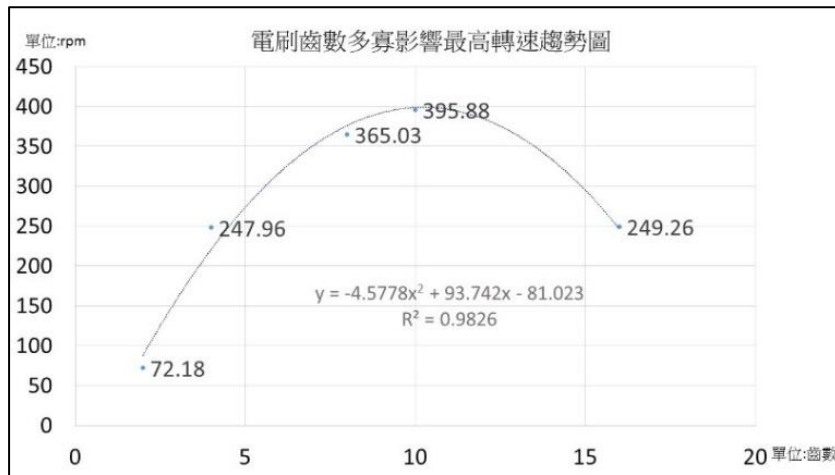


圖32、電刷齒數影響最高轉速之趨勢圖

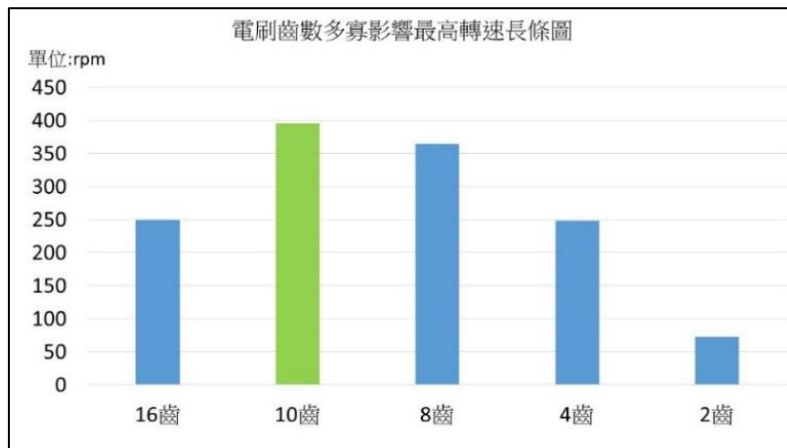
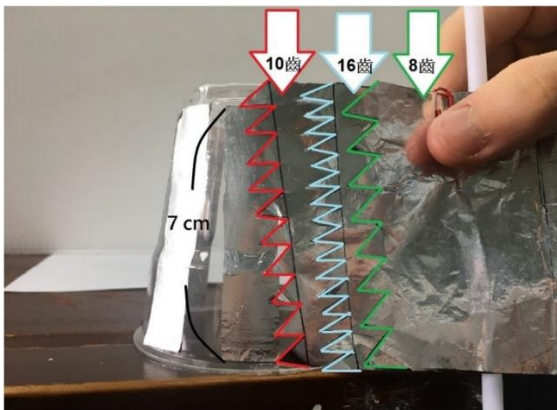


圖33、電刷齒數影響最高轉速長條圖(綠色部分為增加探討實驗)

實驗八小結與討論:

1. 在2齒至16齒的電刷中，齒數越高不代表轉越快，反而呈現了一個弧線的趨勢，我們覺得很有趣，決定更加深入探討。
2. 由於根據16齒、8齒、4齒、2齒的數據我們只能看出一個初步的趨勢，因此我們根據我們所知的數據推測出10齒可能還會比8齒的更高，因此我們便增加10齒的電刷進行測試。
3. 經實驗結果長條圖可知，10齒的轉速最快。由16齒到2齒的數據推測原因可能為，電刷的齒數包覆整片鋁箔的效果最好，能更均勻的放電給塑膠杯上的鋁箔，讓轉動更順利，如(圖34)；但齒數超過10齒後，轉速反而也會隨之下降，可能是因為尖端太多，反而越接近平面，造成尖端放電的效果不佳。
4. 因此，在我們裝置中的電刷的齒數有個最適合的形式，10齒。



◀圖34、各齒數電刷對馬達上鋁箔紙說明圖 / 由圖可看出10齒在相同塑膠杯上鋁箔的高度中，比8齒能多包涵2齒，因此能產生較平均的受力(轉動較穩定)；而16齒的電刷可能因為有因為尖端太多，反而越接近平面，造成尖端放電的效果不佳。

九、電刷與馬達的擺放位置影響轉動效果之探討 (表10、圖35)

表10、電刷與馬達的擺放位置對馬達轉動速影響之實驗數據

組別 次數 rpm值	A組	B組	C組	D組	E組
1	0	95.8	0	371.7	227.6
2	0	112.3	0	338.7	242.2
3	0	122.9	0	340	332.4
4	0	99.4	0	340.4	262.5
5	0	150.3	0	373.1	230.3
6	0	150.1	0	377.4	305.5
7	0	184.4	0	367.5	273.1
8	0	156.7	0	382.4	262.8
9	0	154.4	0	381.1	369.9
10	0	179.8	0	378	357.8
平均	0 (A組)	140.61(B組)	0 (C組)	365.03 (D組)	286.41 (E組)
轉動情形	靜止	穩定	靜止	穩定	穩定

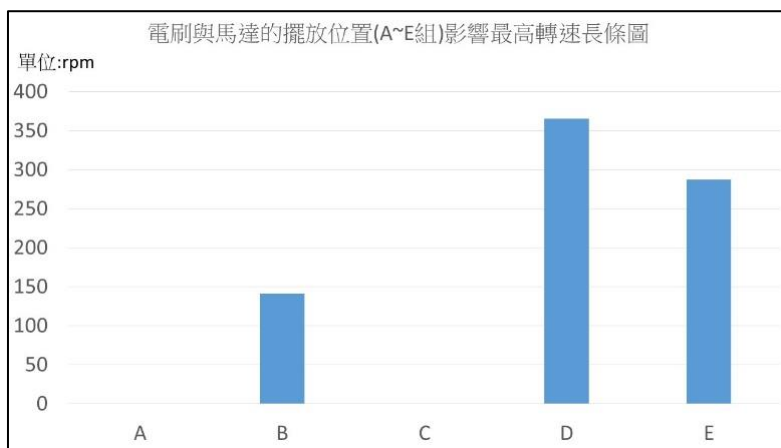


圖35、電刷與馬達的擺放位置影響最高轉速長條圖

實驗九小結與討論:

1. A組可能因不易產生力矩，而造成馬達無法轉動
2. B組的轉動方向為順時針轉動，其他組皆為逆時針轉動，此組可能是因為電刷擺放上有些微的角度差異而導致。
3. C組因電刷過近，電刷會相互吸引，靜電就無法導至馬達上，因此無法轉動。
4. D組為最原始「依據可能加快轉速的擺放位置推測」擺法，由此實驗可知，此組仍是導致最高轉速的電刷擺法。
5. E組仍可轉動，只是加速距離較長，最高轉速比D組略微降低。

伍、討論

一、塑膠杯上黏貼的鋁箔紙片數是否會對馬達轉動效果產生影響?

依據實驗結果得知，從2片到8片之間，片數越多，轉速越高，由此得知，黏貼8片鋁箔紙的轉速最高，但因寬度固定，因此片數若繼續增加反而會重疊，出現無法轉動的情況。

二、塑膠杯上的鋁箔紙傾斜角度是否會對馬達轉動效果產生影響?

從結果可看出，鋁箔紙黏貼角度1對1到1對3呈現下降狀態，因為1對2的鋁箔紙間隔相較1對1較近，以致些微靜電直接跳到另一片鋁箔紙上，因此轉動效果不佳。而1對3因距離過近，靜電會直接跳到另一片鋁箔紙上，導致無法轉動。

三、塑膠杯上的鋁箔紙長度是否會對馬達轉動效果產生影響?

從實驗數據得知，在鋁箔紙長1~7公分中，7公分轉最快，鋁箔紙長度越短轉動狀況穩越不穩定，推測可能是因為受力不平均所致，故鋁箔紙高度應越接近電刷高度越佳。

四、塑膠杯上的鋁箔紙寬度是否會對馬達轉動效果產生影響?

由實驗數據推知，鋁箔紙寬度2公分~0.5公分中，發現從0.5至1.5公分有上升趨勢，並在1.5公分時轉速最高；但若寬度為2公分，鋁箔紙則會互相重疊，以致無法轉動，而0.5公分則不能穩定提供排斥力造成晃動的結果。

五、電刷尖端位置是否會對馬達轉動效果產生影響?

由數據討論結果發現，由實驗A~H組可知，不管是接收電或是放電之處都應該為鋸齒狀才能使馬達順利轉動，而連接接地線的邊緣因直接碰觸接地線，因此該處邊緣是否為鋸齒狀不會影響轉速。

六、電刷橫向寬度是否會對馬達轉動效果產生影響?

依實驗結果得知，電刷橫向寬度9公分~15公分中，15公分轉速最高，推測較長的電刷可能因空間較大，靜電比較不會太快積滿整片電刷，此時靜電能再跳離開電刷，便會使電刷更快恢復至原始狀態，因此能使馬達轉動的效果更佳。

七、電刷縱向寬度是否會對馬達轉動效果產生影響?

由趨勢圖和結果長條圖可知，電刷縱向寬度10公分到6公分的實驗中，8公分轉速最快，由此推測8公分與杯子上鋁箔高度較相近，因此受力較為平均，所以轉速就會比較快。雖然縱向寬度7公分的電刷較8公分相近杯子上鋁箔的長度，但因在同樣寬度中，8公分會比7公分多一齒，有更好的包覆性，縱向寬度因此仍為8公分轉速最快

八、電刷齒數多寡是否會對馬達轉動效果產生影響?

依據圖表討論後推測，電刷齒數中10齒轉速最快，而2齒極不穩定，10齒可能是因尖端數量足夠，產生尖端放電的效果佳，且不會齒數過度分散的緣故，而16齒則會有超出鋁箔長度過多的部分，8齒則是無法完整包覆鋁箔長度，故10齒為最佳。

九、電刷與馬達的擺放位置是否會對馬達轉動效果產生影響?

依數據結果推知，D組是此實驗中最好的擺放位置，相較於其他組來說，比較能夠產生力矩，其他組可能是因力矩不易產生、電刷過近等原因導致轉動效果不及D組好。

陸、結論

一、最好的組合方式: (表11)

1. 塑膠杯上的鋁箔紙使用長7寬1.5公分的鋁箔紙，貼八片於塑膠杯上，且每個杯子上鋁箔紙的間隔皆平均分配。(圖36)
2. 兩側電刷裁切成寬15公分X高8公分的鋁箔，並於兩側都裁成10齒。(圖37)
3. 電刷與馬達的擺放位置以電刷一前一後為最佳組合。(圖38)

表11、最好的組合方式

塑膠杯上鋁箔紙	長7公分寬1.5公分，黏貼8片
電刷	寬15公分高8公分，兩側皆裁成10齒
電刷與馬達擺放位置	一前一後(同實驗九D組)
平均轉速(RPM)	395.88

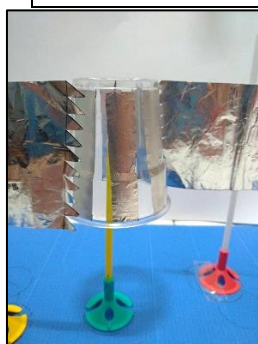


圖36、塑膠杯

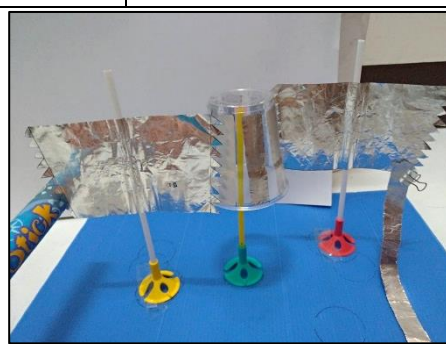


圖37、電刷擺放外型

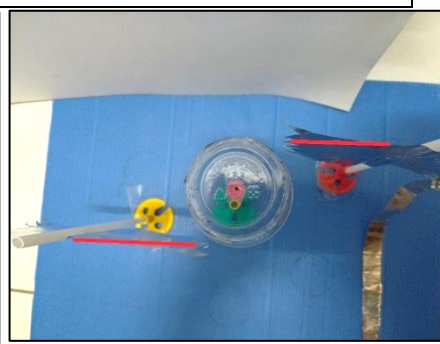


圖38、電刷與馬達的擺放位置

二、此報告中探討了許多變因對富蘭克林馬達的影響，發現不管是塑膠杯上的鋁箔或是電刷又或是電刷與馬達之間的擺放位置，皆會影響馬達的轉速。但仍有許多變因可探討，例如：將馬達上的鋁箔改變為其他形狀，或是直接改變塑膠杯的形狀等，在未來我們可在這方面進行更深的研究。

三、此作品對於轉最快的富蘭克林做了許多詳細的分析，所以在對於未來展望的部分我們甚至可以進行更深入的探討，富蘭克林馬達除了對於發電、抽水等應用之外，是否仍有其他可用之處，並將其實際呈現出來，應用於世。

柒、參考資料及其他

一、NTCU科學遊戲實驗

<http://scigame.ntcu.edu.tw/electric/electric-033.html>

二、設計最高轉速 Franklin moto

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2019/09/2019092323470654.pdf>

三、2020年全國科學探究競賽_國小組第三名_富蘭克林與靜電馬達

<https://www.youtube.com/watch?v=u8F4DK8D4ho>

四、科技大觀園 富蘭克林馬達

<https://www.youtube.com/watch?v=On08u4M1490>

五、2021第27屆遠哲科學趣味競賽-競賽項目 富蘭克林馬達(校內初賽參考影片)

<https://www.youtube.com/watch?v=jVPfgQkNc8g>

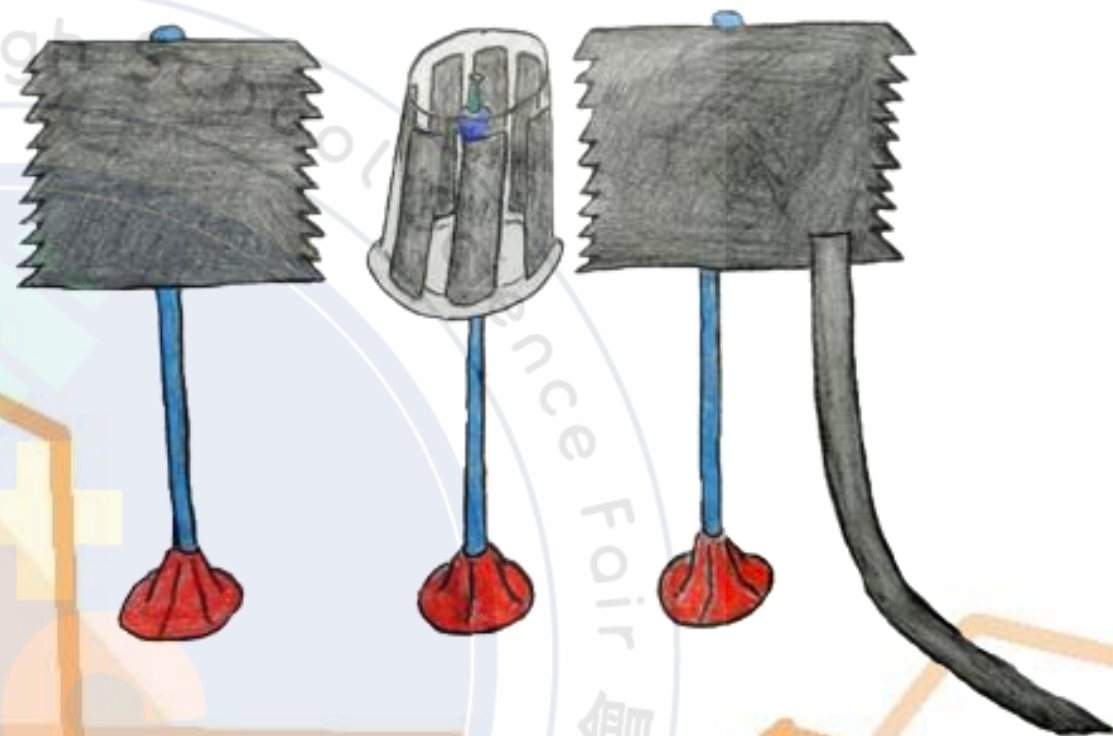
【評語】 030103

1. 研究主題：富蘭克林馬達相關研究已多，亦見為遠哲科學競賽題材，雖非新穎探討議題，本作品儘量以控制環境與供應靜電的方式，從事其他變因的研究，亦值得鼓勵。
2. 創意、學術或實用價值：本研究以控制供應靜電研究方式，惟可考慮量化檢驗鋁箔上電量作變因控制，並設計若干不同變因進行量測及探討分析，找到最佳化提升富蘭克林馬達轉速，發展新穎結構具體應用。
3. 科學方法之適切性：本作品設計多樣化變因，以找到最佳參數。惟實驗數據分析需加強，建議數據應考慮不確定度，並將數據系統化作趨勢分析，探討物理原理關係。系統化將數據配合物理原理分析，以為應用參考。
4. 展示及表達能力佳。

作品簡報

科別：物理

組別：國中組

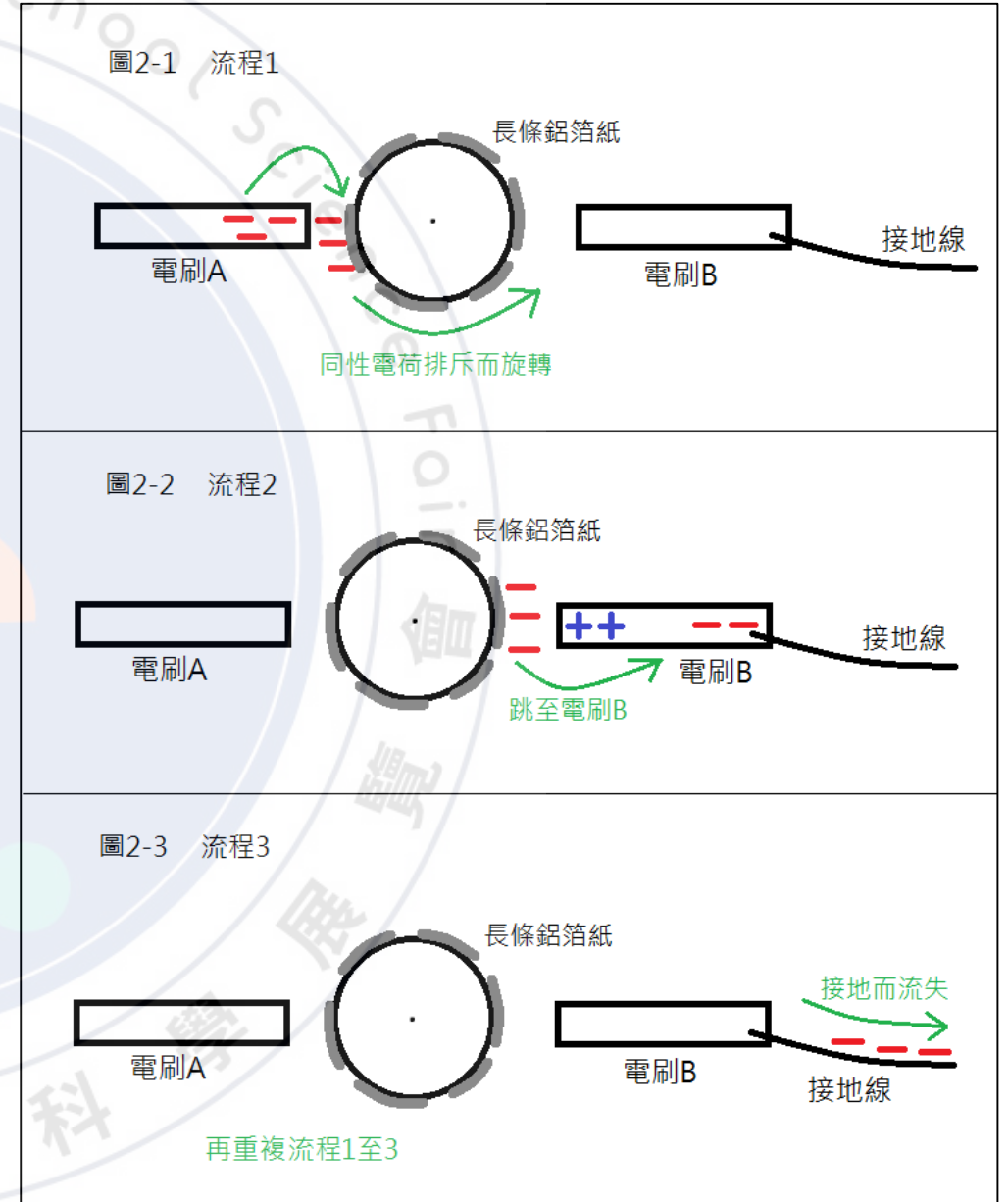


「富」二代的秘密
探討鋁箔紙排列方式對富蘭克林馬達的影響

前言

某次看電視時，看到一個「不用插電就可轉動的馬達」影片，電視中的馬達竟然不用插電就可以轉動，原來這叫富蘭克林馬達。這引起了我的興趣，並上網更進一步的搜尋製作方式。影片中的馬達製作起來看起來輕鬆又簡單，但實際操作起來時，卻發現並沒有想像中的容易。網路上有很多研究作品都是有關最高轉速的研究，但是我們發現仍有許多變因可探討，因此我們將資料蒐集完整後，會再探討的更詳細，並歸納出最好的組合方式。

原理



探討鋁箔紙排列方式 對富蘭克林馬達的影響

塑膠杯上鋁箔紙調整

- 鋁箔紙片數
- 鋁箔紙傾斜角度
- 鋁箔紙長度
- 鋁箔紙寬度

鋁箔紙電刷的調整

- 電刷尖端位置
- 電刷橫向寬度
- 電刷縱向寬度
- 電刷齒數多寡

電刷與馬達 的擺放位置

- 測試可能轉更快的電刷擺放位置

圖1、研究架構圖

圖2、實驗原理圖

研究方法

1:最高轉速測量

最高轉速指的是在給予相同電力、供給電力時間相同下，從開始轉動到完全停止之間出現的轉速最高值。本研究報告中皆以3V供電20秒(經多次測試後，發現20秒即可達到一定的轉動效果)做為固定電量供給。

測量步驟:

- (1)在馬達開始轉動前，將轉速計的雷射光對準杯底的反光貼紙(杯底先黏貼黑紙再貼上反光貼紙，以避免其他反射干擾)
- (2)當馬達開始加速20秒，轉速計即可測量出馬達開始加速至停止之間，RPM的最高值

2:電源供應的穩定

當靜電棒在使用多次後，靜電棒中電池的電力會耗損，則可能造成供電電壓不穩定的情況，造成實驗誤差。為減少實驗誤差，因此使用電源供應器取代電池，連接正負極的線至靜電棒，則可穩定供電。本研究報告中供電電壓皆以3V(一顆3號電池電壓為1.5V，靜電棒使用兩顆3號電池，故控制為3V電壓)做為固定電量供給。

3:RPM值

RPM值 = revolutions per minute(平均每分鐘的轉動圈數)

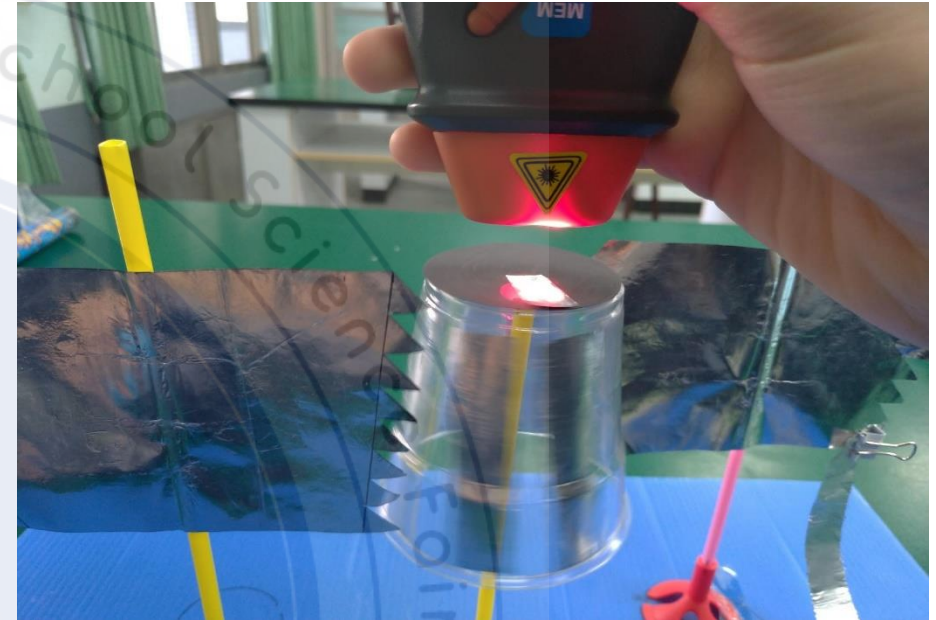


圖3、為最高轉速示意圖

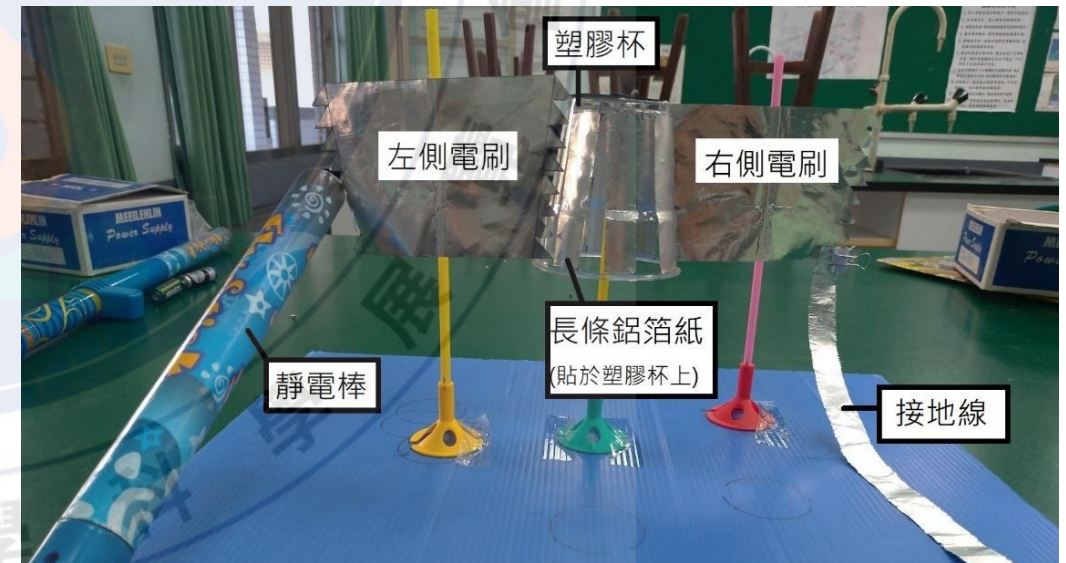


圖4、富蘭克林馬達原型完成圖

研究結果與討論

實驗一、塑膠杯上黏貼鋁箔紙片數位產生轉動速度影響之探討

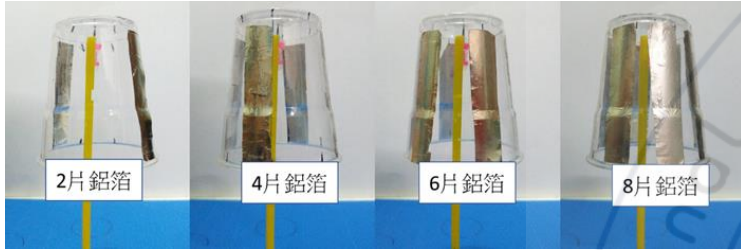


圖5、在塑膠杯上不同片數的鋁箔紙

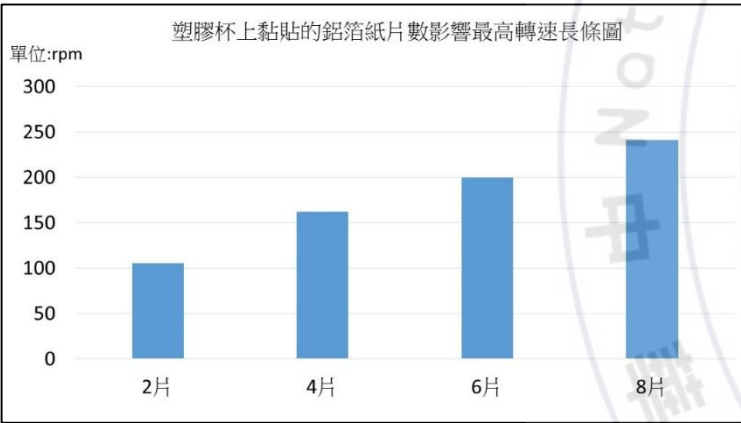


圖6、鋁箔紙片數影響最高轉速長條圖

小結與討論:

1. 從2片到8片鋁箔之間，可以看出片數越高轉速越快。
2. 根據圖表推斷，片數少的杯子可能因為間距過大而導致不易加速；但因鋁箔寬度固定，因此片數若繼續增加至8片以上反而會重疊，出現無法轉動的情況。

實驗說明:

取2片、4片、6片、8片7x1.5公分的鋁箔紙各別以90度貼在不同塑膠杯上，並測量各組最高轉速值。

表1、各組實驗最高轉速值

鋁箔片數	RPM平均值
2片	105.27
4片	162.15
6片	199.80
8片	240.92

實驗二、塑膠杯上黏貼鋁箔紙傾斜角度產生轉動速度影響之探討



圖7、在塑膠杯上不同傾斜角度的鋁箔紙

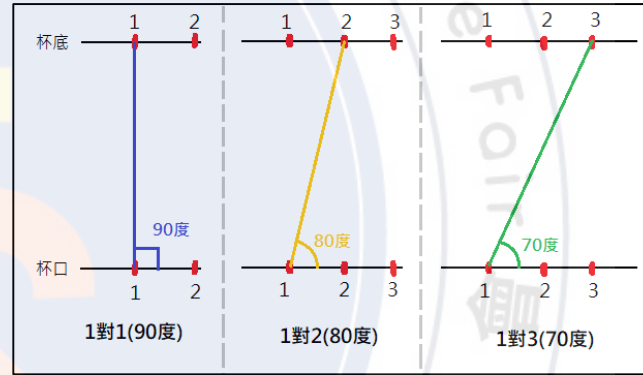


圖8、塑膠杯上黏貼鋁箔紙的傾斜貼示意圖

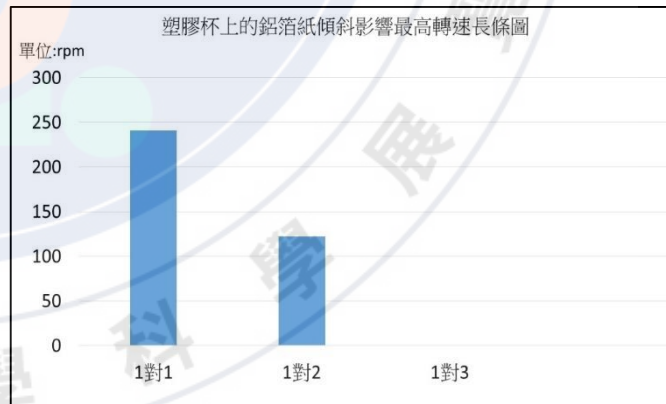


圖9、鋁箔紙傾斜角度影響最高轉速長條圖

實驗說明:

取8片7x1.5公分的鋁箔紙在各別以1對1(對照組90度)、1對2(80度)、1對3(70度)貼在不同塑膠杯上，並測量各組最高轉速值。

註:角度的黏貼與劃記。先在杯子的杯底與杯口等距畫上8個記號，再根據實驗項目決定要黏貼的傾斜角度並劃記黏貼(圖8)。

表2、各組實驗最高轉速值

鋁箔傾斜角度	RPM平均值
1對1(90度)	240.92
1對2(80度)	121.88
1對3(70度)	0

小結與討論:

- 1對1到1對3之間以1對1效果最佳，推測有可能是因為1對1的貼法鋁箔彼此間有保持適當的距離，因此靜電相較於1對2比較不會在塑膠杯上的相鄰鋁箔間移動。
2. 因為1對2的鋁箔紙間隔相較1對1較近，以致些微靜電直接跳到另一片鋁箔紙上，因此轉速些微下降。而1對3則因距離過近甚至重疊，靜電會直接跳到另一片鋁箔紙上，而無法轉動。

實驗三、塑膠杯上的鋁箔紙長度對馬達轉速影響之探討

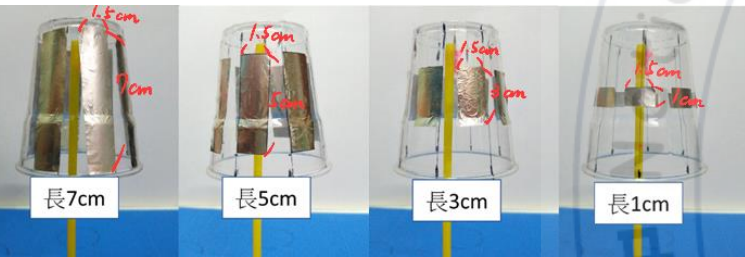


圖10、在塑膠杯上不同長度的鋁箔紙

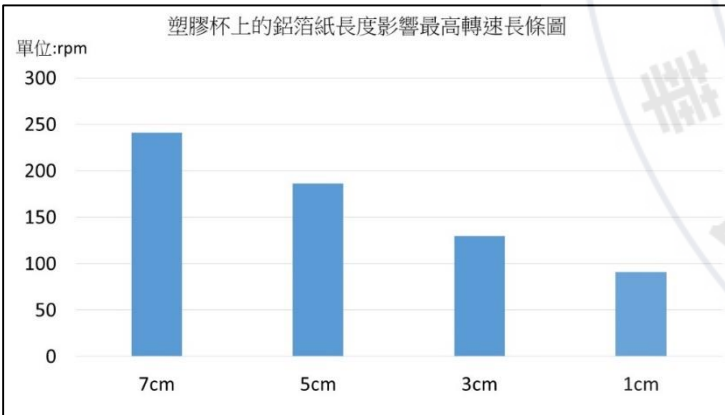


圖11、鋁箔紙長度影響最高轉速長條圖

實驗說明:

取7x1.5、5x1.5、3x1.5、1x1.5公分的鋁箔紙各別以90度貼在不同塑膠杯上，並測量各組最高轉速值。

表3、各組實驗最高轉速值

鋁箔長度	RPM平均值
7公分	240.92
5公分	186.08
3公分	129.94
1公分	91.00

小結與討論:

1. 在塑膠杯上鋁箔紙長度1公分至7公分之間，以7公分長的鋁箔紙轉速最快，推測可能是因為鋁箔紙受力較平均的關係。
2. 推測長5公分、3公分、1公分的鋁箔紙可能因鋁箔紙長度較短導致受力不平均而造成轉速呈下降趨勢，如圖12。

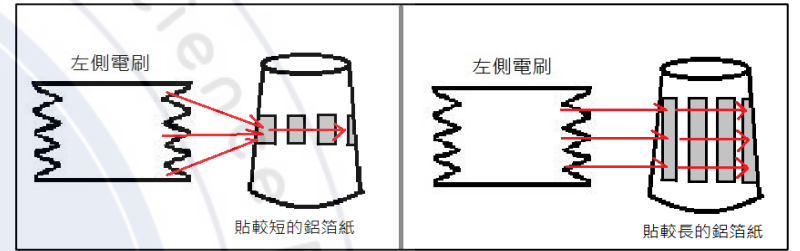


圖12、鋁箔紙受力平均與不平均示意圖

實驗四、塑膠杯上的鋁箔紙寬度對馬達轉速影響之探討

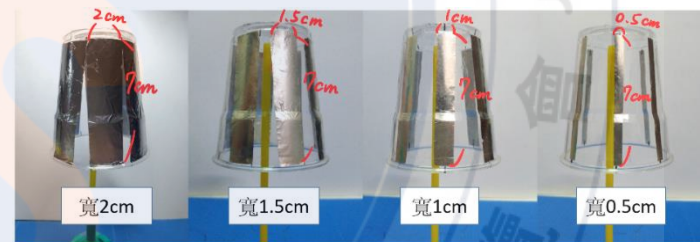


圖13、在塑膠杯上不同寬度的鋁箔紙

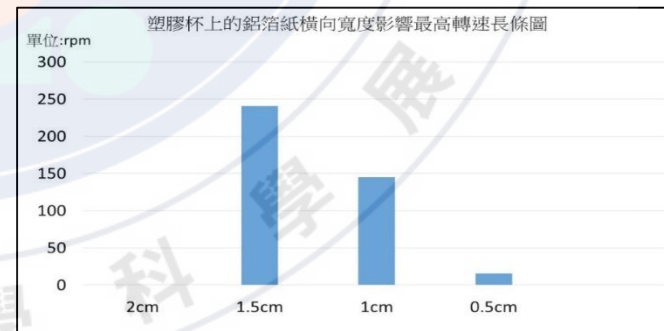


圖14、鋁箔紙寬度影響最高轉速長條圖

實驗說明:

取7x2、7x1.5、7x1、7x0.5公分的鋁箔紙各別以90度貼在不同塑膠杯上，並測量各組最高轉速值。

表4、各組實驗最高轉速值

鋁箔寬度	RPM平均值
2公分	0
1.5公分	240.92
1公分	144.62
0.5公分	15.70

小結與討論:

1. 寬度2到0.5公分寬度的鋁箔紙之間，以寬度1.5公分的鋁箔紙效果最佳，推測可能是因為能夠儲存的靜電較多，因此能產生較大排斥力的緣故。而2公分寬的鋁箔紙則因為鋁箔距離過近，無法產生累積並排斥的動作，因而無法轉動。
2. 而0.5公分寬的鋁箔紙轉動不穩可能是因為鋁箔之間間隔太遠，再加上能累積的靜電量又少，因此只能與左側電刷產生較弱的排斥力，斷斷續續地轉動才會使的馬達轉動不穩。

實驗五、裝置中的電刷尖端位置影響裝置轉動效果之探討

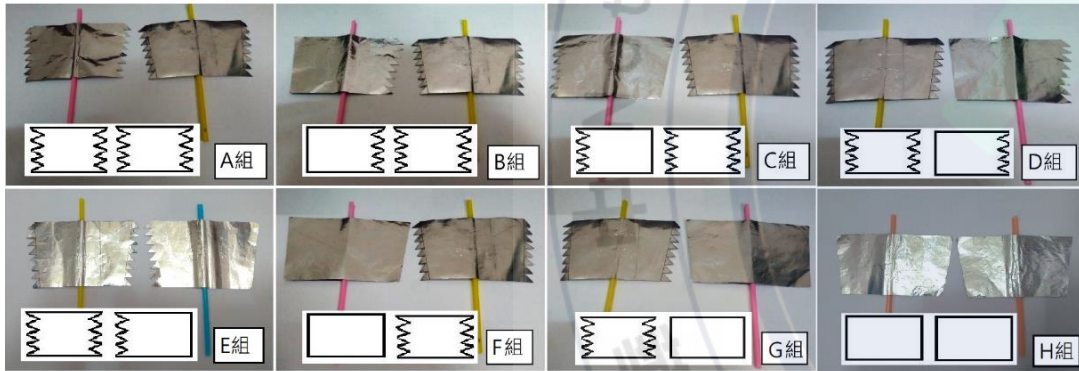


圖15、尖端分別位於不同位置的電刷

實驗說明:
將裝置中電刷改為設計好的A、B、C、D、E、F、G、H組，並逐一測量各組最高轉速值。

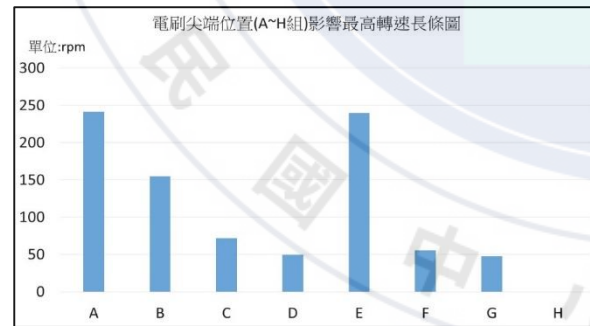


圖16、電刷尖端位置影響最高轉速長條圖

表5、各組實驗最高轉速值

組別	RPM平均值	組別	RPM平均值
A	240.92	E	239.29
B	154.87	F	55.4
C	71.54	G	47.4
D	49.48	H	0

小結與討論:

1. A組兩測皆有鋸齒尖端，為8組中轉速最高者，推測原因為能產生較好的尖端放電效果。
2. B組轉動速度有些微下降，推斷是左側可接收靜電的地方無尖端。
3. C、D組可能因為靜電的放電與接收處皆為平整，尖端放電效果不佳，導致轉速較低。
4. 由於E組最右側邊緣因直接連接接地線，不受最右側平整的影響。
5. F組綜合了B、C組的特點，再次驗證，不管是接收電或是放電之處都應該為鋸齒狀較好。
6. G組綜合了D、E組的特點，G組轉速與D組相近。
7. H組因為無任何鋸齒邊緣，尖端放電的效果極差。
8. 由此實驗可知，不管是接收電或是放電之處都應該為鋸齒狀才能使馬達轉動更順暢。

實驗六、裝置中電刷橫向寬度影響裝置轉動效果之探討

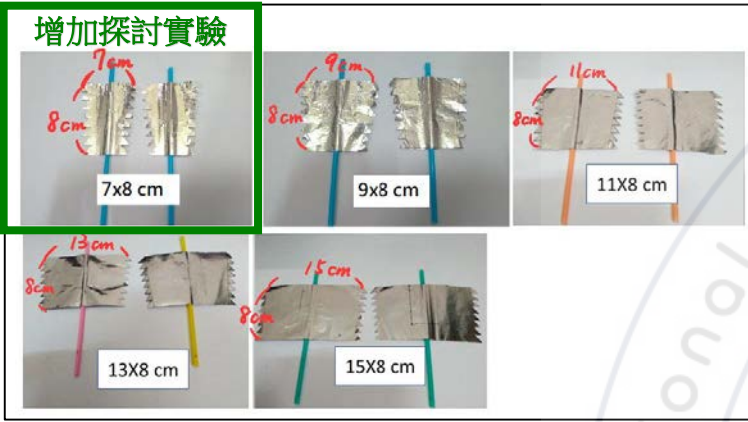


圖17、不同橫向寬度的電刷

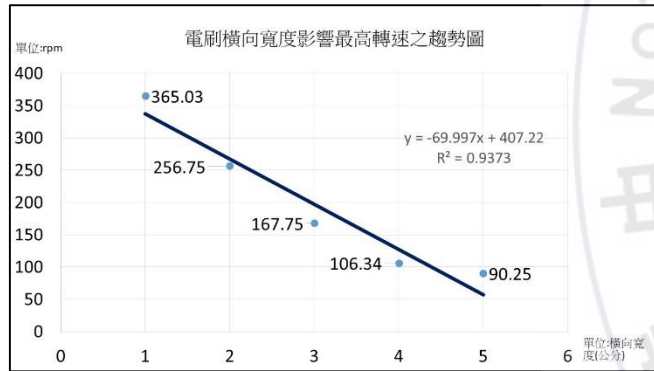


圖18、電刷橫向寬度影響最高轉速之趨勢圖

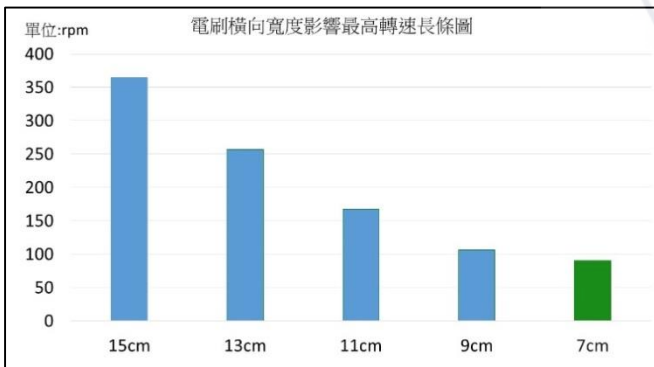


圖19、電刷橫向寬度影響最高轉速長條圖

實驗說明:

1. 取9x8公分、11x8公分、13x8公分(對照組)、15x8公分的電刷並測量各組最高轉速值。
2. 依據我們在趨勢圖中的發現，我們又再新增了7x8公分的實驗，完成後再次套回原先的趨勢圖中，發現仍符合趨勢推估，再次提升了此實驗的完整性。

表6、各組實驗最高轉速值

電刷橫向寬度	RPM平均值
15公分	365.03
13公分	265.75
11公分	167.75
9公分	106.34
7公分	90.25

小結與討論:

1. 電刷橫向寬度在15至7公分中，以15公分寬的電刷轉速最快。
2. 推測較長的電刷可能因空間較大，靜電比較不會太快積滿整片電刷，此時靜電會再跳離開電刷，便會使電刷更快恢復至原始狀態，因此能使馬達轉動的效果更佳。

實驗七、裝置中電刷縱向寬度影響裝置轉動效果之探討

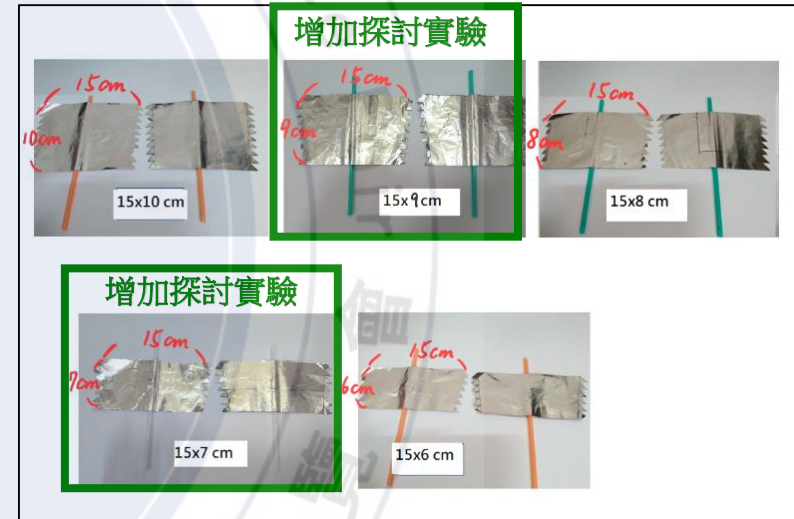


圖20、不同縱向寬度的電刷

實驗說明:

1. 取15x10公分、15x8公分(對照組)、15x6公分的電刷，並測量各組最高轉速值。
2. 依照圖21的趨勢來看，電刷的縱向寬度所造成的轉速最高峰大約是在電刷縱向寬度8公分，而我們再增加了15x9公分及15x7公分的實驗，發現仍符合原趨勢圖的推估，再次確定了此實驗的準確性。

實驗八、裝置中電刷齒數多寡影響裝置轉動效果之探討

表7、各組實驗最高轉速值

電刷縱向寬度	RPM平均值
10公分	365.03
9公分	265.75
8公分	167.75
7公分	106.34
6公分	90.25

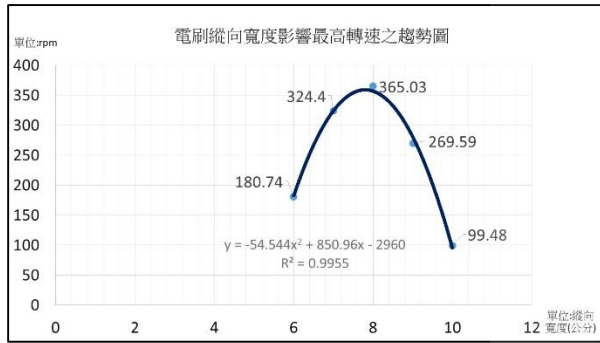


圖21、電刷縱向寬度影響最高轉速之趨勢圖

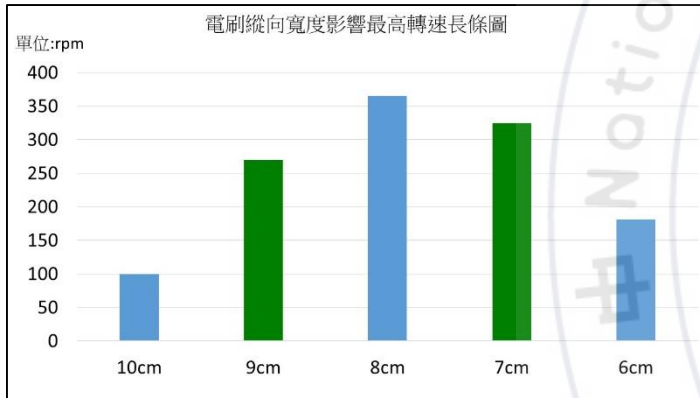


圖22、電刷縱向寬度影響最高轉速長條圖

小結與討論:

1. 電刷縱向寬度10到6公分之間，以8公分轉速最快。推測可能是因為電刷縱向寬度與杯子較相近受力比較平均的緣故。
2. 10公分寬的電刷轉動時發現會不穩，可能是因為電刷的縱向長度大於杯子的長度，導致電刷對塑膠杯上的鋁箔產生的受力方向不一致所造成的。

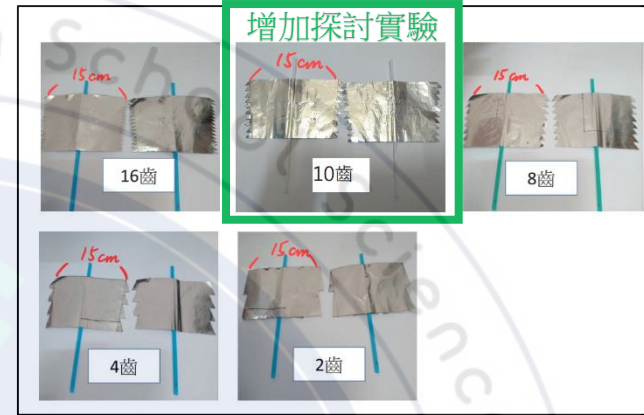


圖23、不同齒數的電刷

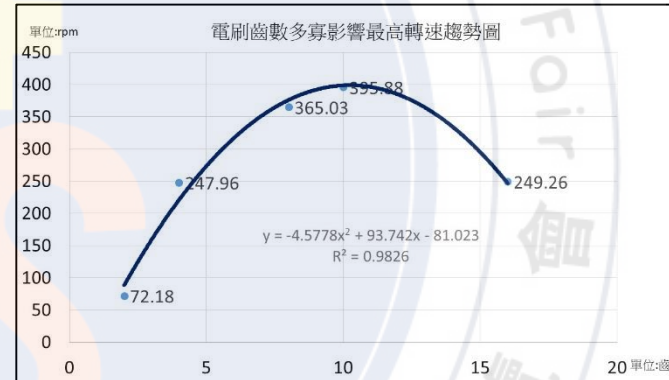


圖24、電刷齒數影響最高轉速之趨勢圖

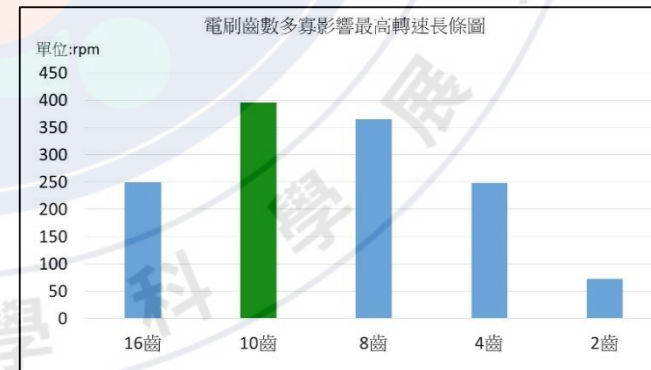


圖25、電刷齒數影響最高轉速長條圖

實驗說明:

1. 將每組長15寬8的電刷，分別裁切為16齒、8齒、4齒、2齒的邊緣齒數，並測量各組最高轉速值。
2. 根據趨勢圖推測，10齒的電刷可能還會比8齒的更高，因此我們便增加10齒的電刷進行測試。

表8、各組實驗最高轉速值

電刷縱向寬度	RPM平均值
16齒	249.26
10齒	395.88
8齒	365.03
4齒	247.96
2齒	72.18

小結與討論:

1. 經實驗結果長條圖可知，10齒的轉速最快。由16齒到2齒的數據推測原因可能為，電刷10齒包覆整片鋁箔的效果最好，能更均勻的放電給塑膠杯上的鋁箔，讓轉動更順利，如(圖26)；但齒數超過10齒後，轉速反而也會隨之下降，可能是因為尖端太多，反而越接近平面，造成尖端放電的效果不佳。
2. 因此，在我們裝置中的電刷的齒數有個最適合的形式，10齒。

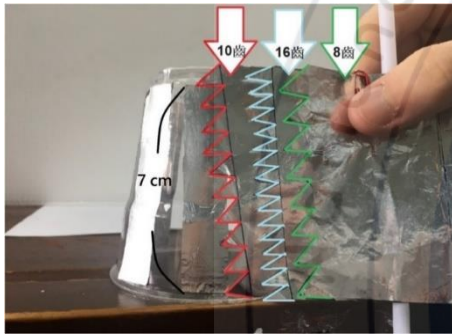


圖26、各齒數電刷對馬達上鋁箔紙說明圖

實驗九、電刷與馬達的擺放位置影響轉動效果之探討

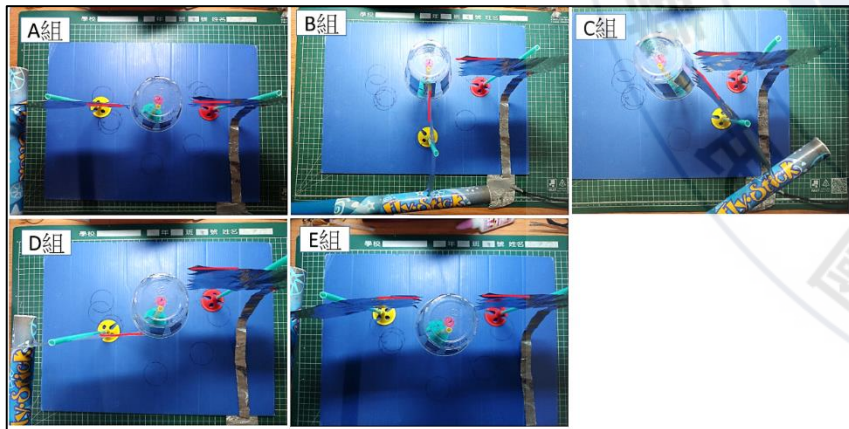


圖27、電刷與馬達之間各種擺放位置(A~E組)

實驗說明:
設計出幾組(A~E組)
電刷與馬達之間的
擺放角度，並測量
各組最高轉速值。

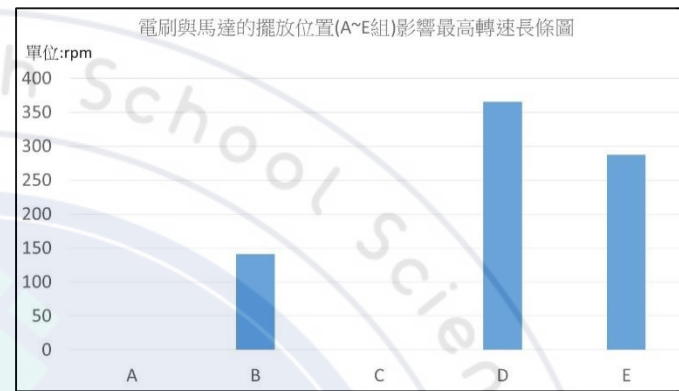


圖28、電刷與馬達的擺放位置影響最高轉速長條圖

小結與討論:

1. A組可能因不易產生力矩，而造成馬達無法轉動
2. B組的轉動方向為順時針轉動，其他組皆為逆時針轉動，此組可能是因為電刷擺放上有些微的角度差異而導致。
3. C組因電刷過近，電刷會相互吸引，靜電就無法導至馬達上，因此無法轉動。
4. D組為最原始「依據可能加快轉速的擺放位置推測」擺法，由此實驗可知，此組仍是導致最高轉速的電刷擺法。
5. E組仍可轉動，只是加速距離較長，最高轉速比D組略微降低。

表9、各組實驗最高轉速值

組別	RPM平均值
A	0
B	140.61
C	0
D	365.03
E	286.41

結論

最好的組合方式：

實驗項目	最佳實驗參數
1.塑膠杯上鋁箔紙尺寸與數量(圖29)	黏貼8片長7公分寬1.5公分的鋁箔紙
2.電刷結構(圖30)	寬15公分高8公分，兩側皆裁成10齒
3.電刷與馬達擺放位置(圖31)	一前一後(塑膠杯口外側切線處)

實驗結果

平均轉速(RPM)	395.88
-----------	--------

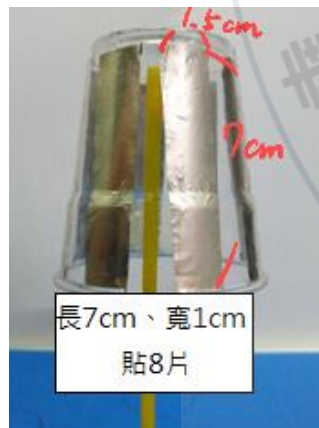


圖29、鋁箔紙黏貼於塑膠杯

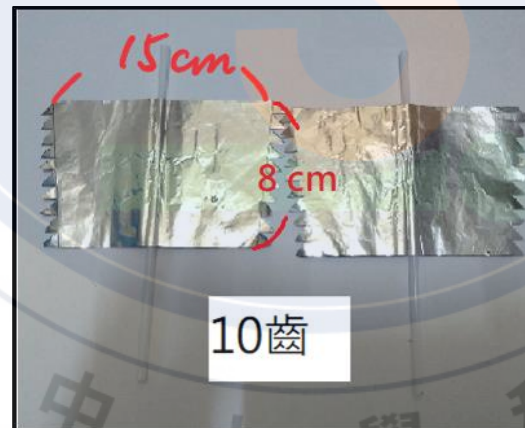


圖30、電刷結構設計



圖31、電刷與馬達擺放位置

未來展望

一、問題解決：

- 1、目標：解決馬達轉動不穩的情形。
- 2、說明：我們進行實驗時發現，只使用圖釘固定塑膠杯，導致馬達轉動時的不穩定，因此未來我們對於實驗設計，將會著重於如何讓馬達穩定轉動。

二、實驗驗證：

- 1、目標：分析圖表並找出影響曲線的原因。
- 2、說明：我們對於轉速最快的富蘭克林馬達做了許多研究，但依據曲線圖呈現出來的結果，雖然我們在全國賽期間更進一步證實曲線的準確性，但尚未做出完整實驗來支持我們對造成曲線的假設是否正確，因此我們的延續性目標之一是針對實驗六、七、八之曲線圖進行分析，找出影響曲線的原因並加以解釋。

參考資料

- 一、NTCU科學遊戲實驗
- 二、設計最高轉速 Franklin moto
- 三、2020年全國科學探究競賽_國小組第三名_富蘭克林與靜電馬達
- 四、科技大觀園 富蘭克林馬達
- 五、2021第27屆遠哲科學趣味競賽-競賽項目 富蘭克林馬達(校內初賽參考影片)