

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別： 物理科

組 別： 國小組

作品名稱：

附件：說明書封面

磁場分布對電動機轉速之影響

關 鍵 詞： 電磁鐵、電動機、磁力 (最多三個)

編 號：

題目：磁場分布對電動機轉速之影響

壹、摘要：

在單組永久磁鐵，以不同「擺放角度」對「單極電動機」轉速之影響的實驗，轉速較佳的位置集中在 A、B、C、D 四個位置只有圓形半面效果佳。在雙組永久磁鐵不同的擺放位置對「單極電動機」轉速之影響，兩組磁鐵夾角是在 180 度以內，且 N、N 磁極朝內相對，因「合力作用」，所以能一起增強排斥力。三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響，竟然比對照組單組磁鐵效果差。在環狀排列的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響的實驗中，發現環狀排列的磁鐵的轉速效果均比對照組佳單組效果佳。二極電動機無論如何轉動，線圈的 NS 極會固定位置。「市售小馬達」會也固定磁極位置，即是 N、S、S，無論如何轉動均會保持如此。

貳、動機：

我們在翰林版六上「電磁作用」單元，有學到「電磁鐵」以及「電生磁」概念，電磁鐵和一般磁鐵都具有同性極相斥異性極相吸的特性，能應用在製作電動機。

我們在自然課學習到製作簡易動機，但它有一些缺點，例如：轉速不穩、結構不堅固...等等缺點。

所以我們想要動手製作結構較穩固的單極電動機和二極電動機。以便進一步探討磁場分布對電動機轉速之影響。

參、實驗目的

- 1.實驗一：自製單極電動機和二極電動機
- 2.實驗二：磁鐵水平移動對「單極電動機」轉速之影響?
- 3.實驗三：永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響?
- 4.實驗四：單組永久磁鐵不同「擺放角度」對「單極電動機」
- 5.實驗五：雙組永久磁鐵不同的「擺放位置」對「單極電動機」轉速之影響?[NS 相對]
- 6.實驗六：雙組永久磁鐵不同的擺放位置對「單極電動機」轉速之影響?[NN 相對]
- 7.實驗七: 使用三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響?
- 8.實驗八：永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響?
- 9.實驗九: 環狀排列的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響?

肆、實驗材料

- 1.漆包線(直徑 0.5cm)
- 2.電線
- 3.永久磁鐵
- 4.迴紋針
- 5.鹼性電池
- 6.木板
- 7.轉速儀(BENETECH Tachometer GM8905)

伍、實驗方法和結果

實驗一： 自製單極電動機和二極電動機

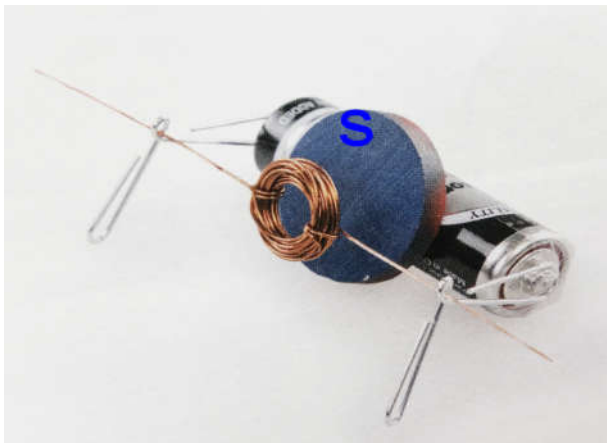
A.實驗目的：

改良自然課本的簡易電動機，自製結構穩定，易於改變磁力的電動機

B.實驗結果：

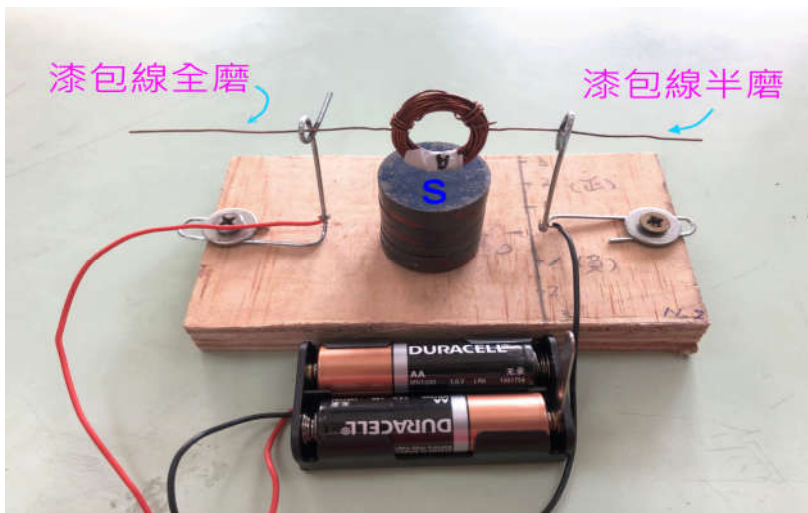
【圖 1】下圖是我們自然課本的簡易電動機，但是它有下列缺點：

- 1.迴紋針支架太細
- 2.迴紋針用膠帶黏在電池兩端上，很不牢固
3. 不易調整線圈和永久磁鐵之間的排斥距離
4. 以電池作為電動機的底座，重量太輕了易晃動
5. 線圈和永久磁鐵之間的距離不足，不易再增加永久磁鐵個數



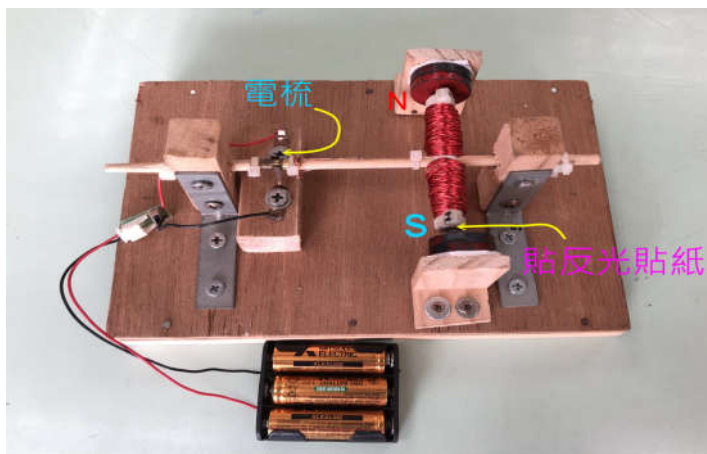
【圖 2】下圖是我們自製的「單極電動機」。具有下列特點：

1. 支架用較粗的迴紋針，較穩定。
2. 線圈下方易增加永久磁鐵個數，來增強排斥力。
3. 迴紋針支架用螺絲固定在底板，而課本只是用膠帶黏的。而我們自製單極電動機，不會因快速轉動而變形或發生移動。
4. 線圈漆包線用砂紙一端半磨，另一端全磨。半磨的原因是轉半圈「通電」，轉半圈「斷電」。
5. 單極電動機當半圈「通電」時，線圈與永久磁鐵之間會發生「同性極相斥」(或異性極相吸)。再轉半圈「斷電」，此時是利用「慣性作用」來旋轉另外半圈。因為是單極，電池的「電流反向」時，線圈與永久磁鐵發生相吸或相斥情形會相反，電動機因此發生「逆轉」。



【圖 3】下圖是我們自製的「二極電動機」，它具有下列特點：

1. 可以隨意改變「線圈」與「永久磁鐵」之間的排斥距離。
2. 方便增加兩側永久磁鐵個數，藉以改變排斥力道。
3. 製作時需注意，線圈兩側纏繞需同方向，讓線圈一端是 N 極另一端是 S 極，以便和兩側永久磁鐵發生同性相斥異性極相吸，進而連續旋轉。
4. 在線圈其中一個末端，貼上反光貼紙，雷射轉速儀的雷射光對準貼紙，
5. 再利用反射的紅光閃爍頻率來測得電動機的轉速。



【圖 4】雷射轉速儀測量轉速。在線圈上貼上反光貼紙，以紅色雷射光照貼紙後，利用反射光的閃爍頻率來測得線圈轉速。



實驗二：磁鐵水平移動對「單極電動機」轉速之影響？

A. 實驗目的：

我們想要了解永久磁鐵的水平移動距離對「單極電動機」轉速之影響？而永久磁鐵在支架兩側之影響是否有對稱性？我們在线圈上貼上反光貼紙，再以雷射轉速儀測量轉速。

B. 控制變因：

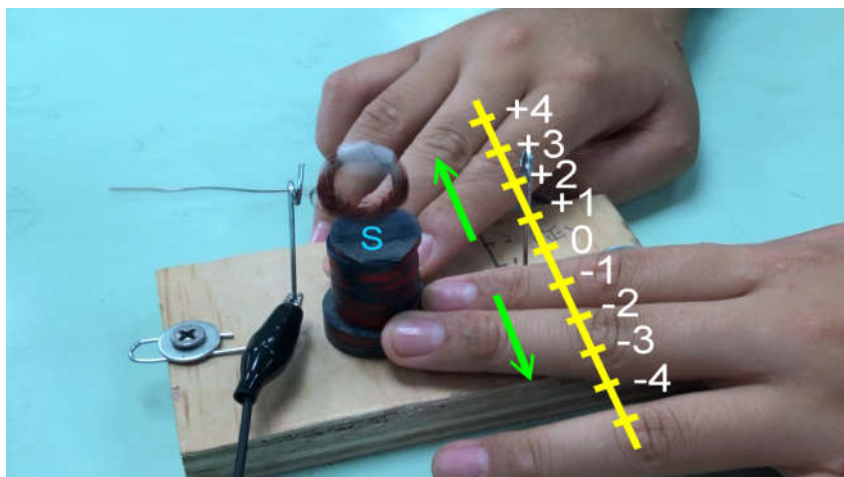
1. 永久磁鐵 9 顆
2. 線圈 20 圈
3. 電池 3.0 伏特

C. 操作變因

永久磁鐵放在線圈下方，左右各水平移動 0-4 公分。

D. 實驗結果

【圖 5】磁鐵水平移動距離對「單極電動機」轉速之影響(實驗照片)



【表 1】磁鐵水平移動距離對「單極電動機」轉速之影響

磁鐵水平 移動距離 (公分)	轉速 (轉)			
	第一次	第二次	平均	其它
0	1879	2572	2225	正下方
1	2615	2402	2508	最快
2	2568	2458	2513	最快
3	0	0	0	不轉動
-1	1473	1447	1460	反轉
-2	1010	706	858	反轉
-3	723	532	627	反轉
-4	0	0	0	不轉動

E. 發現

1. 0 點(即是線圈正下方)不是轉速最快
2. 磁鐵離開+1~+2 公分，轉速最快
3. 兩側轉速不對稱，這是本實驗的重要發現!
4. 當磁鐵在-1~-3 公分水平移動，單極電動機會「發生反轉」的現象，真是太有趣了。

實驗三：永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響？

A. 實驗目的

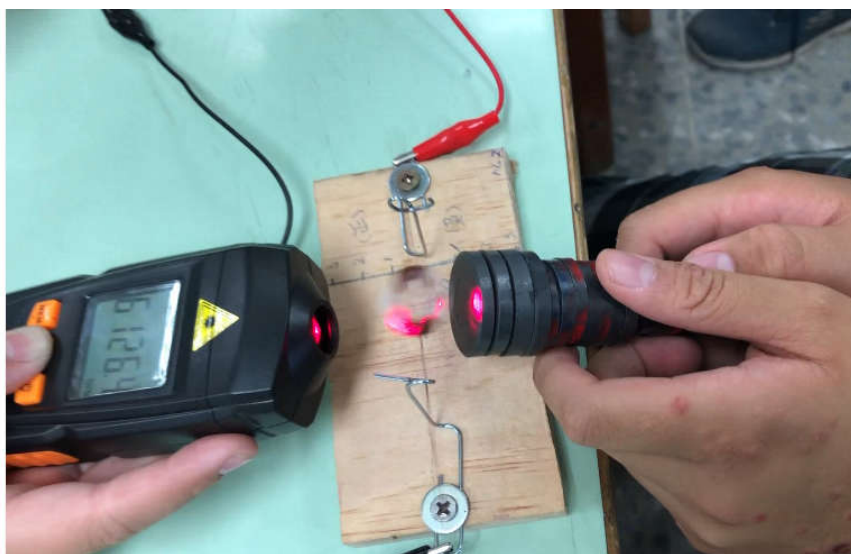
我們想要了解永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響？是否只是磁鐵個數越多，轉速越會快而已？

B. 控制變因

磁鐵 45 度朝上擺放 (理由見實驗四)

C. 實驗結果

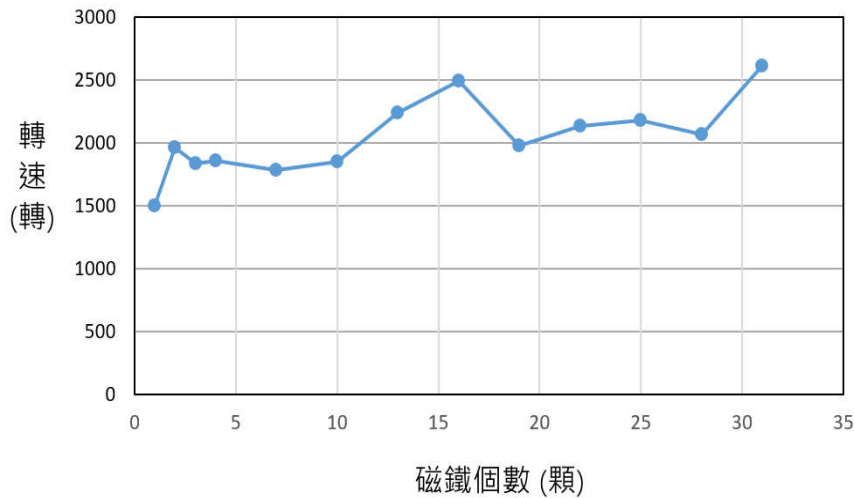
【圖 6】永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響(實驗照片)



【表 2】永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響

磁鐵顆數(顆)	轉速 (轉)			
	第一次	第二次	平均	其他
1	1669	1343	1506	
2	1654	2277	1966	
3	1782	1898	1840	
4	1828	1881	1858	
7	2120	1447	1783	
10	2221	1489	1855	
13	1921	2557	2239	
16	2715	2280	2498	
19	1880	2087	1983	
22	2290	1977	2133	
25	2110	2246	2178	
28	1783	2359	2071	
31	2412	2813	2612	

【圖 7】永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響



D.討論

- 1 永久磁鐵越多，雖然轉速會越快，但是曲線上升幅度漸會逐漸變緩。
永久磁鐵不是越多顆轉速就會越好。
- 2.轉速不穩定有時會忽快忽慢。因結構因素—漆包線的直徑，太粗太重轉不動，直徑細轉的快，但「**線圈直線部分**」易「**變形下垂**」，讓轉速變不穩定。這是「單極電動機」致命缺點!!
- 4.其他不穩定的可能原因:
 - a. 結構不穩，轉一轉支架就歪掉或軟掉了
 - b. 線圈兩端「**線圈直線部分**」會「**左右晃動**」，會讓磁力讓「**排斥點**」左右晃不固定，因而影響轉速的穩定性。

實驗四：單組永久磁鐵不同「擺放角度」對「單極電動機」轉速之影響？

A.實驗目的

我們想要了解單組永久磁鐵，以不同「擺放角度」對「單極電動機」轉速之影響？哪一個方向效果最好？是正下方？正上方？還是 45 度朝上？

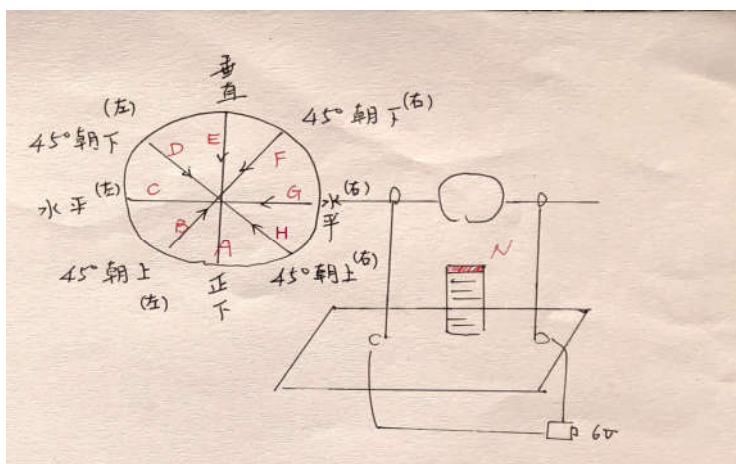
B.控制變因

六顆磁鐵為一組，電池 6V

C.實驗結果

【圖 8】單組永久磁鐵不同「擺放角度」對「單極電動機」轉速之影響

實驗結果: 左半邊 A、B、C、D 四個位置效果佳；右半邊 E、F、G、H 四個位置反而不動!(因為斷電!)



【表 3】單組永久磁鐵不同「擺放角度」對「單極電動機」轉速之影響

磁鐵「擺放角度」		轉速 (轉)			
		第一次	第二次	平均	其他
A	正下	2317	2681	2499	逆 (佳)
B	45 度朝上(左)	1882	1742	1812	順 (佳)
C	水平	2640	2508	2574	順 (佳)
D	45 度朝下(左)	2656	2426	2541	順 (佳)
E	垂直	0	0	0	不動
F	45 度朝下(右)	0	0	0	不動
G	水平 (右)	0	0	0	不動
H	45 度朝上	0	0	0	不動

D.討論

- 1.永久磁鐵不同擺放位置，實驗發現竟然有半邊「單極電動機」是不會轉動的(太棒了)
2. 如下圖:其中(正下)、(水平)、(45 度朝下) 三個角度均優。轉速較佳的位置集中在 A、B、C、D 四個位置，代表只有圓形半面效果佳，這結果太特別了!!
- 3.仔細思考為何有如此的結果: 原來是線圈磁性是「單極」的緣故!!漆包線「半磨」會導致「斷電」。
- 4.實驗結果也發現: 通電後單極線圈的磁極產生位置不是在正上方或在正下方，反而是左半邊和右半邊，這和我們原本預估的不同。此外迴紋針折的孔型也會影響單極產生位置。

實驗五：雙組永久磁鐵不同的「擺放位置」對「單極電動機」

轉速之影響？[NS 相對]

A. 實驗目的：

課本「單極電動機」只有用一組永久磁鐵，我們想再多加一組磁鐵，觀察對轉速會有甚麼影響？是更快呢？還是產生反效果？

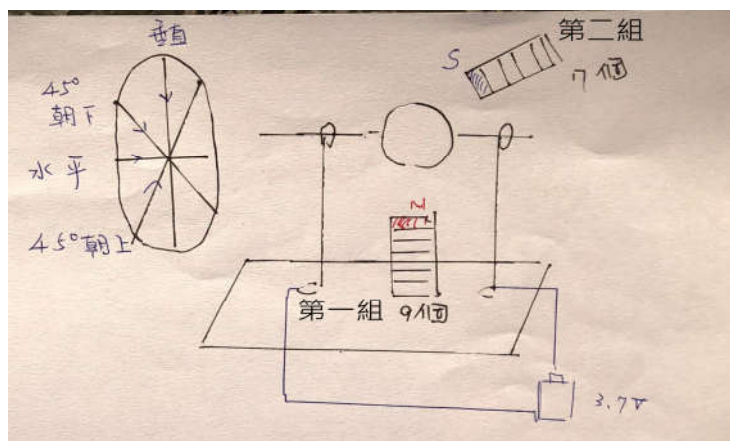
因為「二極電動機」原本就用「雙組永久磁鐵」。但是「單極電動機」如果也用「雙組永久磁鐵」結果會如何呢？

B. 控制變因：

1. 兩組永久磁鐵：(1) 上方這組：用 7 個永久磁鐵
(2) 下方這組：用 9 個永久磁鐵
2. 線圈 20 圈
3. 電池：3.7v
4. 兩組永久磁鐵 N、S 極「朝內相對」。

C. 實驗結果

【圖 9】雙組永久磁鐵不同的「擺放位置」對「單極電動機」轉速之影響
(兩組永久磁鐵 N、S 極「朝內相對」)



【表 4】雙組永久磁鐵不同的「擺放位置」對「單極電動機」轉速之影響

第二組磁鐵的擺放方向	轉速（轉）			
	第一次	第二次	平均	其他發現
垂直	1328	1501	1415	有時不動. 都比對照組差
45 度朝下	1987	2015	2001	都比對照組差
水平	921	1368	1145	都比對照組差
45 度朝上	1199	1297	1748	
單組磁鐵 (對照組) (只有下方這組)	2059	2026	2043	

D.討論

1. 竟然雙組永久磁鐵以 NS 極朝內時，結果竟然都比單組磁鐵轉速差（慢）真是特別
2. 單極電動機的磁鐵擺放方式，不可以比照二極電動機，並不適合使用雙組 NS 極朝內相對的方式，效果反而較差。

實驗六：雙組永久磁鐵不同的擺放位置對「單極電動機」轉速之影響？[NN 相對]

A.實驗目的：

而上面的[實驗五]是兩組永久磁鐵 N、S 磁極相對，本如果改成 N、N 磁極朝內相對結果會如何呢？

B.控制變因

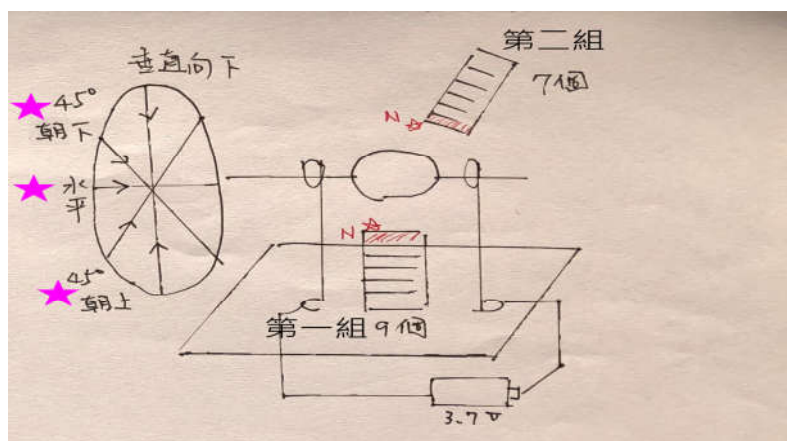
1. 兩組永久磁鐵：
 - (1) 上方這組：用 7 個永久磁鐵
 - (2) 下方這組：用 9 個永久磁鐵
2. 線圈 20 圈
3. 電池：3.7v
4. 兩組永久磁鐵 N、N 磁極朝內相對

C. 實驗結果

【圖 20】雙組永久磁鐵不同的擺放位置對「單極電動機」轉速之影響

(兩組永久磁鐵 N、N 磁極相對)

左半邊星號的位置是增強效果，右半面則因為「斷電」而沒有作用



【表 5】雙組永久磁鐵不同的擺放位置對「單極電動機」轉速之影響

第二組磁鐵的擺放方向	轉速 (轉)			
	第一次	第二次	平均	其他
垂直朝下	0	0	0	最差(不會旋轉)
45 度朝下	2524	1739	2131	優 (優於對照組)
水平	1453	2124	1788	佳 (優於對照組)
45 度朝上	1950	2145	2048	優 (優於對照組)
單組磁鐵 (對照組)	1416	1484	1450	

D. 討論

1. 第二組磁鐵的擺放方向以「垂直朝下」效果最差，不會旋轉，推測是磁力抵銷的緣故。
2. 第二組磁鐵的擺放方向以(45 度朝下)、(水平)和(45 度朝上)三者效果最佳，這是很特別的! 而且都比對照組單組磁鐵還優。仔細觀察可發現兩組磁鐵夾角是在 180 度以內，且 N、N 磁極朝內相對，推測是因為「合力作用」，所以能一起合作增強排斥力。
3. 加入第二組磁鐵不是一定會有增強效果，還要注意它的擺放方向，才不會抵銷現象，倒產生了反效果。(如實驗五)

實驗七：使用三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響？

A. 實驗目的

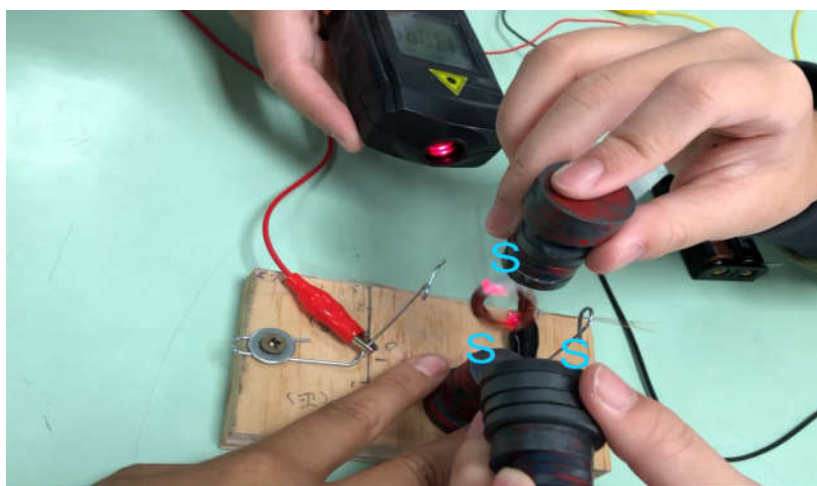
我們想要了解使用三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響？

B. 控制變因

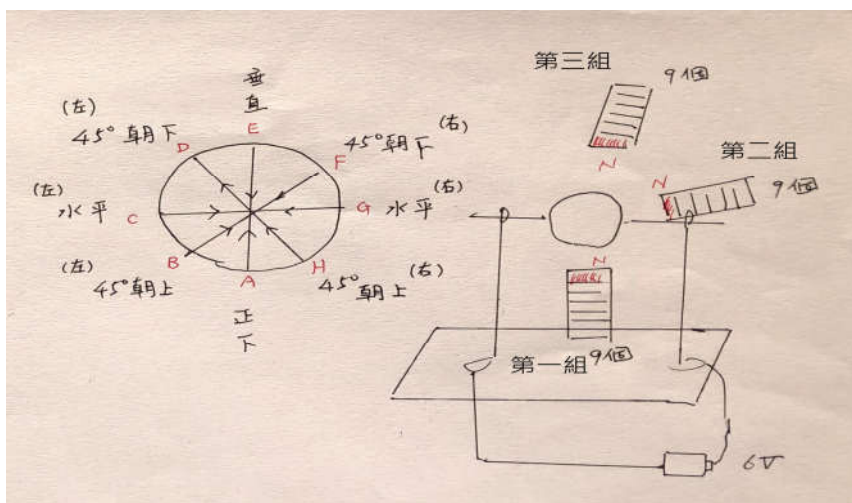
三組磁鐵排成三個方向，每組 9 個磁鐵。

C. 實驗結果

【圖 21】使用三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響(實驗照片)



【圖 22】使用三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響



【表 6】使用三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響

三組磁鐵排列		轉速（轉）			
形狀	位置	第一次	第二次	平均	其他
Y	ADF	143	1613	1628	
T	ACG	0	0	0	不動
-I	ACE	1332	1649	1491	
單組（對照組）(只有正下方這組)		1647	2096	1871	反轉

D.討論

- (1) 三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響，竟然比對照組單組磁鐵效果差。推測多出來的那兩組磁鐵會有抵銷效果。
- (2) 單極電動機在二組或三組永久磁鐵影響之下，多數效果都比單組磁鐵的差。
[實驗五，表 4]和 [實驗七，表 6]
例外的是---只有在二組且夾角在 180 度以內，且 N、N 磁極朝內相對，才能對單極馬達加速作用，這是本研究的重大發現。
[實驗六，表 5]
- (3) 那麼二極電動機是否也是如此?結果是否定的....竟然多組效果好!!
(請見實驗九)

實驗八：永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響？

A.實驗目的:

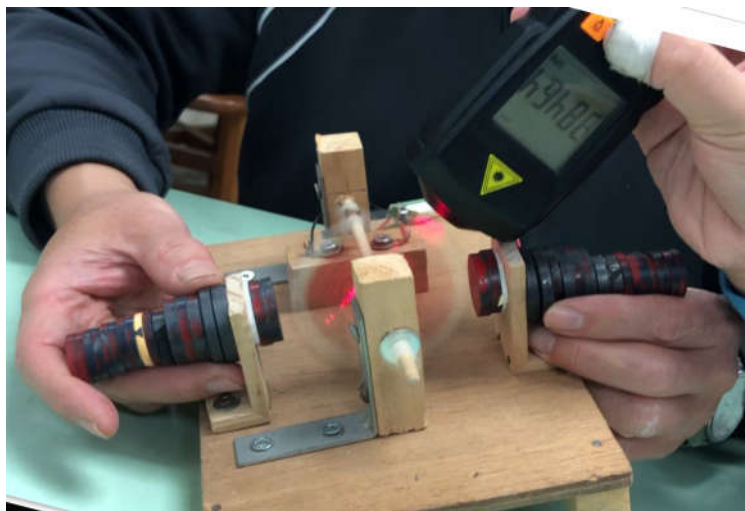
之前都用「單極電動機」，而我們本實驗開始我們要對「二極電動機」進行探討。想要了解以水平角度來外加的永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響？難道只是加越多顆速度越快？

B.實驗方法:

水平擺放，增加磁鐵個數

C. 實驗結果

【圖 23】水平外加的永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響(實驗照片)

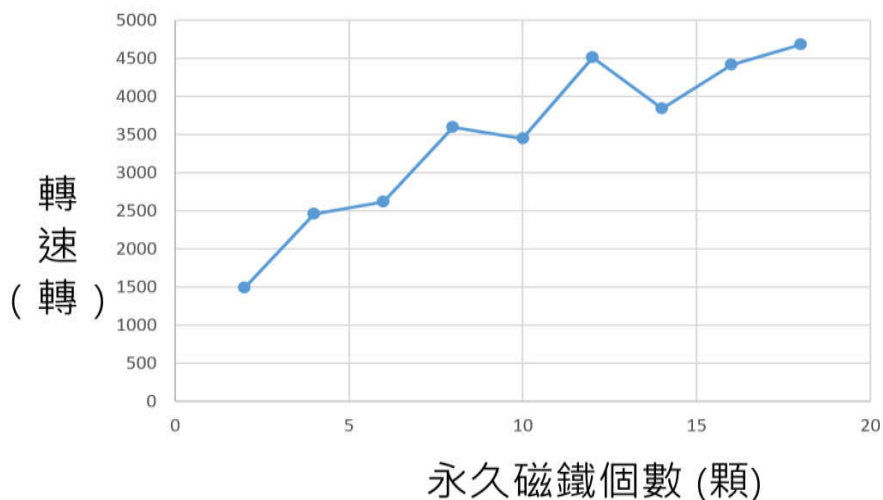


【表 7】水平外加的永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響

永久磁鐵個數 (左右再另外加) 顆	轉速 (轉)			
	第一次	第一次	平均	其他
2	1249	1737	1493	
4	2846	2042	2458	
6	2741	2511	2626	
8	3704	3497	3601	
10	3154	3743	3449	
12	4087	4941	4514	
14	3887	3808	3848	
16	3896	4936	4416	
18	4853	4513	4683	有越大趨勢

【圖 24】水平外加的永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響

與單極電動機比較，二極電動機轉速的數值較穩定，因為線圈結構較穩定不易變形。



D.討論

- 1.磁鐵個數越多，「二極電動機」果真有轉速越快的趨勢。
- 2.外加的磁鐵不是個數越多越好，轉速會有增加趨緩的現象。
- 3.與單極電動機比較，二極電動機轉速的數值較穩定，因為線圈結構較穩定不易變形。

實驗九：「環狀排列」的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響？

A.實驗目的

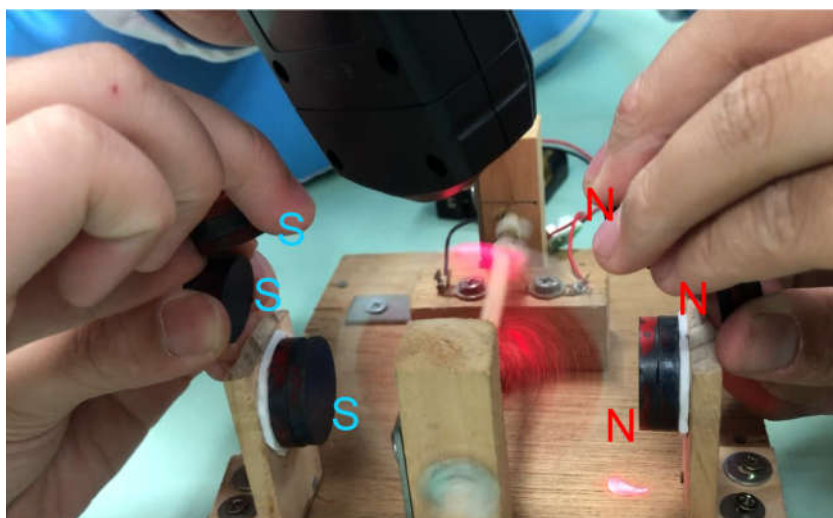
我們想要了解「環狀排列」的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響？

B.控制變因

單邊三組磁鐵作環狀排列

C. 實驗結果

【圖 25】「環狀排列」的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響(實驗照片)



【表 8】「環狀排列」的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響

(左右組再另外各加) 顆	轉速 (轉)			
	第一次	第二次	平均	其他
1	2448	1982	2215	比對照組好
3	1838	2169	2004	比對照組好
5	3507	3281	3397	比對照組好
7	3453	3134	3294	比對照組好
對照組(左右各二顆)	1505	1784	1645	

D. 討論

1. 環狀排列的磁鐵的轉速效果均比對照組佳單組效果佳。這個結果真是太棒了。
2. 無論二極電動機如何轉，線圈的 NS 極位置會固定。是左邊 N 極右邊 S 極。這是重要發現! 磁極的判定可以利用指北針靠近電動機線圈的來判斷磁極位置。此外，觀察電流經過「電刷」時的方向和以及安培右手定則，也可以用來判斷線圈兩端磁極的位置。
3. 「市售小馬達」我們用指北針去偵測，發現會有『三個磁極』，小馬達的線圈通電轉動時，也是會固定磁極位置，即是 N、S、S，無論如何轉動均會保持如此。磁鐵環狀排列對轉速提升真的很有效，難怪市售小馬達的磁鐵會採用環狀弧形排列的方式。
4. 外加的磁鐵也不是越多越好，必須注意成本效益以及體積大小，是否符合實用性。

5. 「單極電動機」外加磁鐵要注意夾角，且 N、N 極朝內，否則容易產生反效果，但是「二極電動機」就很適合以環狀方式外加磁鐵。(重要發現)

【圖 26】「市售小馬達」我們用指北針去偵測，發現會即是 N、S、S『三個磁極』。永久磁鐵採用環狀弧形排列的方式。



陸、結論

1. 我們自製的「單極電動機」。具有下列特點: 支架用較粗的迴紋針，較穩定。線圈下方易增加永久磁鐵個數，以改變磁力大小。迴紋針用螺絲固定在底板，不會因轉動而變形或發生移動。自製的「二極電動機」，具有下列特點: 可以隨意改變「線圈」與「永久磁鐵」之間的排斥距離。方便增加兩側永久磁鐵個數，藉以改變排斥力道。
2. 我們在永久磁鐵的水平移動距離對「單極電動機」轉速之影響的實驗中，發現線圈正下方不是轉速最快的位置。磁鐵離開+1~+2 公分，轉速最快。兩側轉速不對稱，這是我們的重大發現! 當磁鐵在-1~-3 公分水平移動，單極電動機則會「發生反轉」的現象，真是太有趣了。
3. 我們在永久磁鐵個數對「單極電動機」轉速之影響的實驗中，發現永久磁鐵越多，雖然轉速會越快，但是曲線上升幅度漸會逐漸變緩。單極電動機「線圈直線部分」易「變形下垂」，讓轉速變不穩定。這是「單極電動機」致命缺點!! 其他不穩定的原因包括: 支架因快速轉動而歪掉，線圈兩端「線圈直線部分」會「左右晃動」，會讓磁力讓「排斥點」左右晃不固定，因而影響轉速的穩定性。

4. 在單組永久磁鐵，以不同「擺放角度」對「單極電動機」轉速之影響的實驗，我們發現永久磁鐵不同擺放位置，實驗發現竟然有半邊是「單極電動機」是不會轉動的。如下圖:其中(正下)、(水平)、(45度朝下)三個角度均優。轉速較佳的位置集中在 A、B、C、D 四個位置，代表只有圓形半面效果佳，這結果太特別了!!
5. 我們在雙組永久磁鐵不同的「擺放位置」對「單極電動機」轉速之影響[NS 相對] 的實驗中，發現竟然雙組永久磁鐵以 NS 相對時，結果竟然都比單組磁鐵轉速差（慢）真是特別。單極電動機的磁鐵擺放方式，不可以比照二極電動機，即是不適合使用雙組 NS 極朝內相對的方式，效果反而較差。
6. 在雙組永久磁鐵不同的擺放位置對「單極電動機」轉速之影響？[NN 相對] 的實驗中，我們發現第二組磁鐵的擺放方向以(45度朝下)和(45度朝上)效果最佳（很特別），而且比對照組單組優。仔細觀察可發現兩組磁鐵夾角是在 180 度以內，且 N、N 磁極朝內相對，推測是因為「合力作用」，所以能一起增強排斥力。
7. 我們在「環狀排列」的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響的實驗中，發現三個方向的永久磁鐵對「單極電動機」轉速之影響，竟然比對照組單組磁鐵效果差。推測多出來的那兩組磁鐵會有抵銷的效果。單極電動機在二組或三組永久磁鐵影響之下，多數效果都比單組磁鐵的差。例外的是----只有在二組且夾角在 180 度以內，且 N、N 磁極朝內相對，才能對單極馬達加速作用，這是本研究的重大發現。
8. 在永久磁鐵個數對「二極電動機」的轉速之影響的實驗中，我們發現磁鐵個數越多，「二極電動機」果真有轉速越快的趨勢。與單極電動機比較，二極電動機轉速的數值較穩定，因為結構較穩定不易變形。不是磁鐵越多越好，會有增加趨緩的現象。
9. 我們在環狀排列」的磁鐵對「二極電動機」轉速之影響的實驗中，發現環狀排列的磁鐵的轉速效果均比對照組佳單組效果佳。這個結果太棒了。無論二極電動機如何轉，線圈的 NS 極會固定。是左 N 極右 S 極。這是重要發現! 「市售小馬達」會固定磁極位置，即是 N、S、S，無論如何轉動均會保持如此。「單極電動機」外加磁鐵要注意夾角，且 N、N 極朝內，否則容易產生反效果，但是「二極電動機」就很適合外以環狀外加磁鐵。

柒、感想

自製製作結構穩定的電動機是必要的，也有利變換不同的實驗條件，便於細部探討磁場對電動機的影響，也讓整的探究過程變得很有趣。

捌、參考資料

- 1.電與磁的奇妙世界。自然與生活科技教師手冊 6 上版。南一書局。2017