新竹市第四十一屆中小學科學展覽會
作品說明書

科　　別：物理

組　　別：國小組

作品名稱：震動刷毛蟲

關 鍵 詞：刷毛蟲、震動子、作用力與反作用力

編　　號：

製作說明：

1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。

2.編號由統一編列。

3. 封面編排由參展作者自行設計。

摘要

震動刷毛蟲的馬達通電後將電能轉換為動力，應用磁場和電流的相互作用產生旋轉，利用馬達跟刷毛的特性產生運動，加上振動子來產生位移，並嘗試改變刷毛蟲的重量、振動子的重心、振動子的重量及刷毛腳的排列方式，來記錄其運動軌跡後，可發現改變刷毛腳排列方式的軌跡最多變化且有趣，而減輕振動子重量的結果差異最小，藉由此次震動刷毛蟲實驗，觀察紀錄其運動軌跡與改變，推理及思考該如何調整並修正實驗後，再加以實作完成，達到科學實驗中最重要的從做中學的精神。

壹、研究動機

自然課時，振動蟲走迷宮一直是令我印象深刻的遊戲，再加上某次課後的課程有機會接觸到震動刷毛蟲，發現震動刷毛蟲的運動裡包括了學校自然課裡學習到的很多單元，其中有作用力與反作用力、摩擦力，甚至六年級剛接觸過的電磁流效應。生活中，除了電動牙刷外，負責家中地板清潔的掃地機器人，像是具有高度智慧的震動刷毛蟲，他們的振動次數與振動方式不僅可以在生活中被高度利用，甚至還可以透過智能控制，行徑軌跡變得可以被監控與設定，這些都引起了我們高度的興趣，一隻體型小小卻可以被把玩在掌心的刷毛蟲，原來擁有很多可以被放大與運用的地方，成為了這次科展的研究動機。

貳、研究目的

一、研究不同重量的刷毛蟲對跑動軌跡的差異性

二、研究振動子固定點對刷毛蟲跑動軌跡的差異性

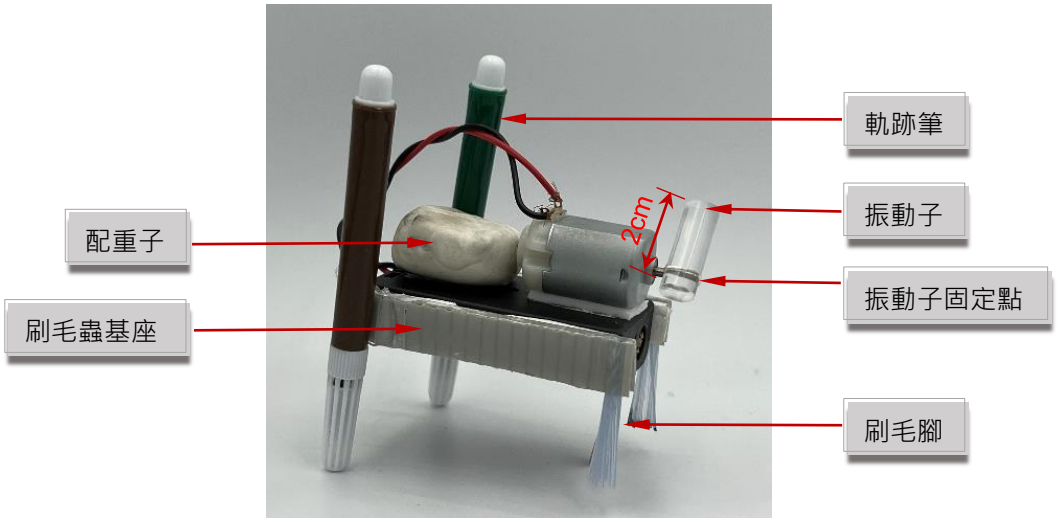
三、研究振動子重量對跑動軌跡的差異性

四、研究刷毛蟲刷毛腳排列方式對跑動軌跡的差異性

參、研究設備及器材

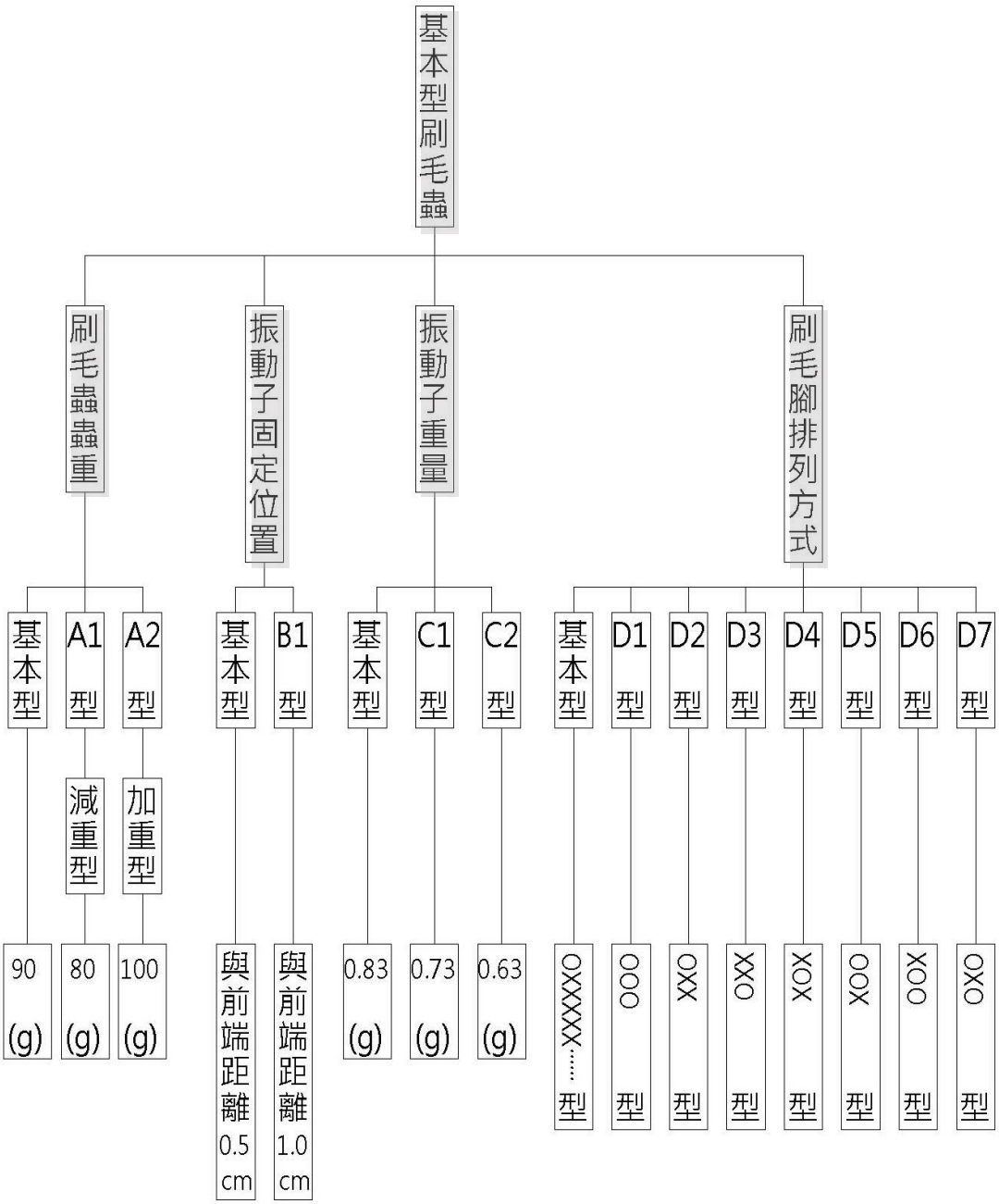
一、刷毛蟲製作材料清單:

名稱	數量	名稱	數量
3 號電池	數個	250 磅全開西卡紙	數張
3 號電池盒	數個	萬用黏土	數個
直流馬達	數個	尖嘴鉗	四隻
2x6(cm)泡棉膠帶	數個	撥線鉗	一隻
0.7cm 膠條振動子	數個	斜口鉗	數隻
細塑膠刷毛 7cm	數個	切割墊	一個
1x6(cm) 塑膠瓦楞板	數個	美工刀	一把
捲尺	一隻	軌跡筆(彩色筆)	數枝
熱熔膠槍	一隻	細鐵棒	一支
電子秤	一臺	計時器	一個



震動刷毛蟲實品照

肆、研究過程及記錄:


基本型刷毛蟲
刷毛蟲蟲重
振動子固定位置
振動子重量
刷毛腳排列方式
基本型
A1型
A2型
基本型
B1型
基本型
C1型
C2型
基本型
D1型
D2型
D3型
D4型
D5型
D6型
D7型
減重型
加重型
90 (g)
80 (g)
100 (g)
與前端距離0.5 cm
與前端距離1.0 cm
0.83 (g)
0.73 (g)
0.63 (g)
OXXXXX……型
OOO型
OXX型
XXO型
XOX型
OOX型
XOO型
OXO型

一、【實驗一】研究不同重量的刷毛蟲對跑動軌跡的差異性

操縱變因 ： **A.不同刷毛蟲蟲體總重量**

控制變因 ： B.相同振動子固定點

C.相同振動子重量

D.相同刷毛腳排列方式

E.相同刷毛腳長度

F.相同刷毛腳材質

G.相同振動子粗細(直徑)

H.相同振動子長度

基本型、A1 型、A2 型刷毛蟲定義，如下圖所示：

基本型刷毛蟲				
操縱變因				
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

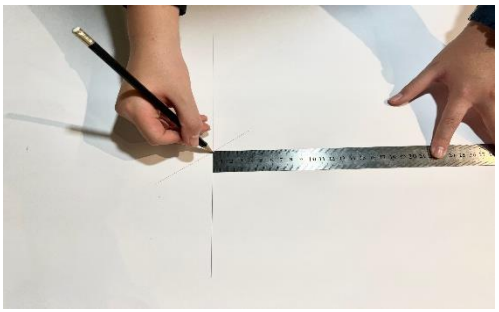
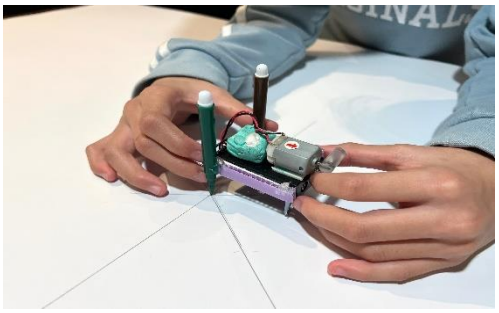
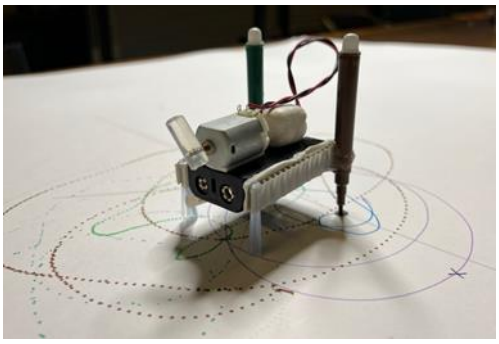
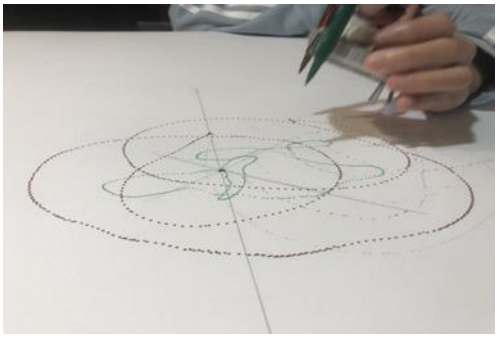
A1刷毛蟲(減重型)				
操縱變因	A.	刷毛蟲總重量	80	g
控制變因	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

A2刷毛蟲(加重型)				
操縱變因	A.	刷毛蟲總重量	100	g
控制變因	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

(一) 實驗操作要點：

1．讓刷毛蟲在 250 磅全開（1091X787mm)西卡紙上，執行固定時間（10 秒）的跑動實驗，在全開的西卡紙中先找出中心點（設定為起點），並將刷毛蟲的右腳定位於起點後，進行定時由原點啟動的跑動實驗。

2．將刷毛蟲上的電池盒電源打開，一人雙手控制刷毛蟲及固定振動子，將刷毛蟲的右後腳固定在西卡紙上的中心點上方，待另一人計時準備就緒倒數再將刷毛蟲確實放下在起始點上計時開始 10 秒的跑動實驗。

	
在 250 磅全開的白色西卡紙上，測量並找出紙張的中心點後用鉛筆做記號，設為起點。	執行實驗前，先將刷毛蟲的右腳定位於西卡紙上的原點。
	
計時開始時，同步放開已經定位好於西卡紙上方原點的刷毛蟲，執行 10 秒鐘計時跑動實驗。	計時 10 秒鐘實驗結束時，同時拿起刷毛蟲結束跑動實驗，並觀察刷毛蟲的跑動軌跡。

(二)實驗過程：

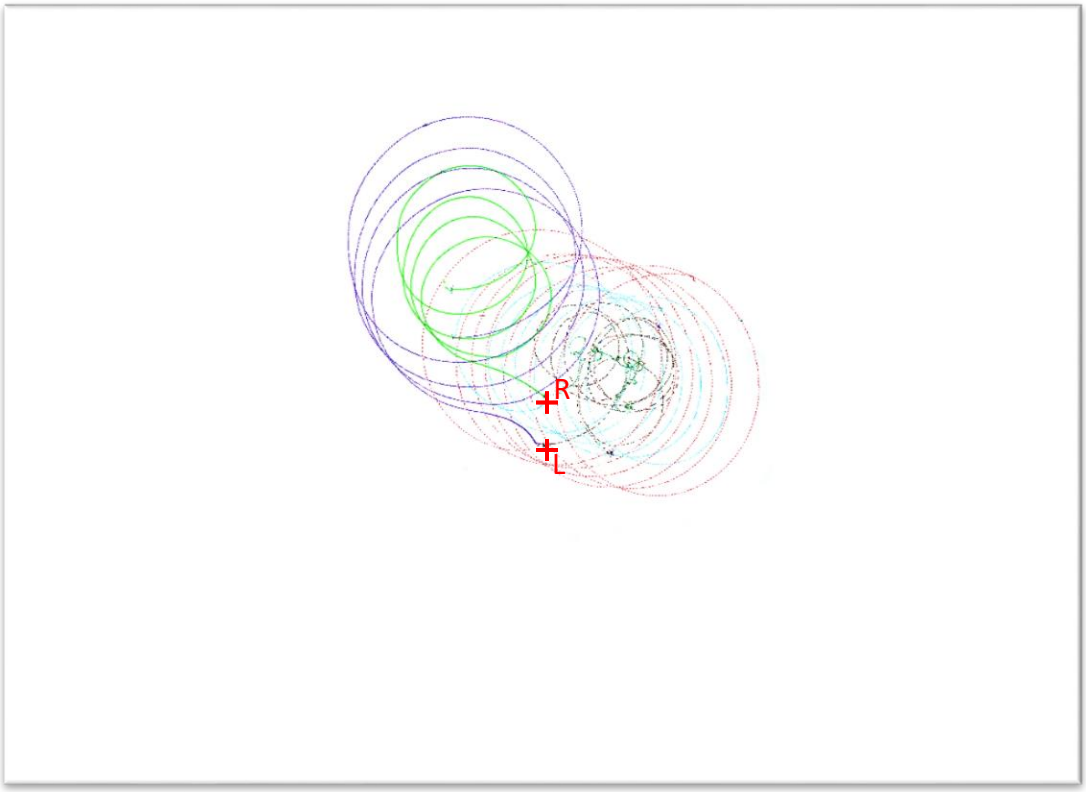
因為【實驗一】進行的是：研究不同重量的刷毛蟲對跑動軌跡的差異性， 我們必須先設定出一隻基本蟲的蟲體重量，再討論減重或增重蟲體，來產生三隻不同的蟲重，進行此次實驗。

1．先做出一隻空蟲來評估基本蟲大約的重量後，討論與設定基本蟲重的重量為 90g，並設定與命名此刷毛蟲為基本蟲。

2．製作標準化的基本蟲後，依據實驗目的對空蟲進行重新配重，設定一隻為減重蟲，蟲重為 80g(以下圖示稱為 A1 型)，另設一隻則為加重蟲，蟲重 100g (以下圖示稱為 A2 型)。

3．先後讓三隻不同重量的蟲體，基本型、A1 型、A2 型，依照操作要點的步驟進行計時 10 秒鐘的跑動實驗。

(三)實驗記錄：

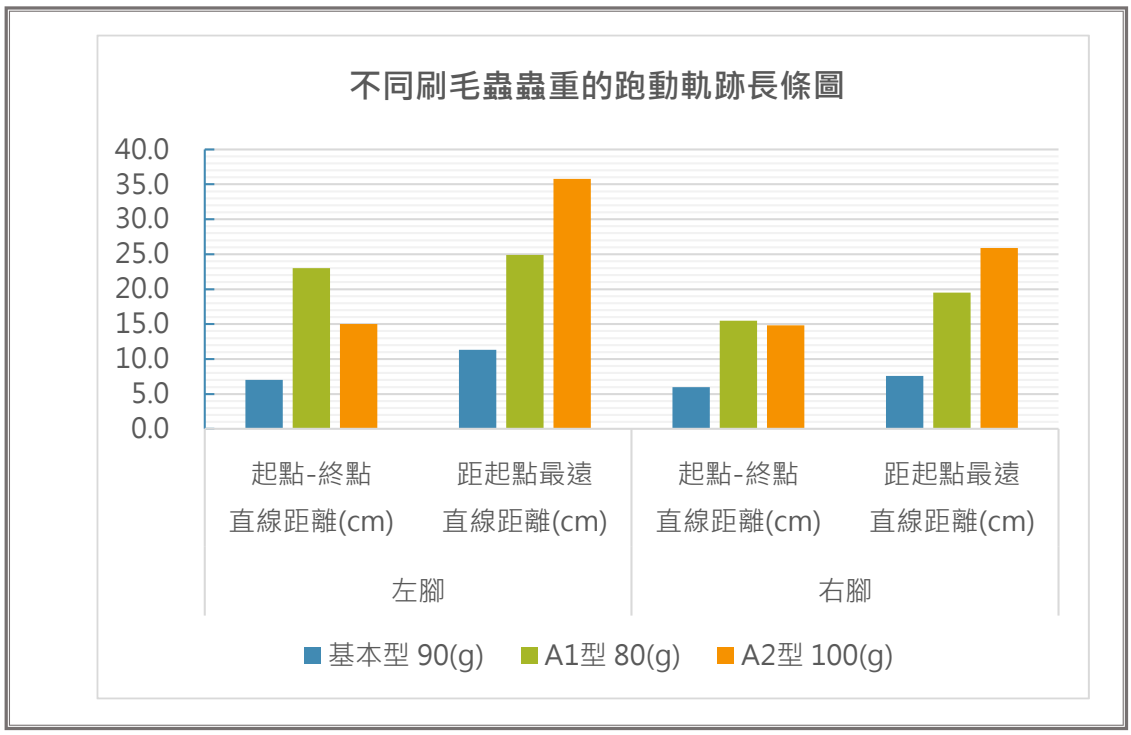


三種不同重量的刷毛蟲跑動的軌跡圖

以下為三種不同刷毛蟲蟲重的跑動軌跡記錄表：

刷毛蟲重量(g)	左腳			右腳		
	旋轉方向(時針方向)	起點-終點直線距離(cm)	距起點最遠直線距離(cm)	旋轉方向(時針方向)	起點-終點直線距離(cm)	距起點最遠直線距離(cm)

基本型	90g	逆	7.0	11.3	逆	6.0	7.6
A1型	80g	順	23.3	24.9	順	15.5	19.5
A2型	100g	順	15.0	35.8	順	14.8	25.9



(四)實驗結果

1．基本型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因為作用力與反作用力的影響，讓基本型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 7.0cm，右腳位移了 6.0cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 11.3cm，右腳距起點最遠直線距離為 7.6cm。

2．減重型刷毛蟲－通電運轉後呈順時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓減重型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 23.3cm，右腳位移了 15.5cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 24.9cm，右腳距起點

最遠直線距離為 19.5cm。

3．加重型刷毛蟲－通電運轉後呈順時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓加重型刷毛蟲 左腳起點至終點直線距離位移了 15.0cm，右腳移了 14.8cm，左腳距起點最遠直線距離為 35.8cm，右腳距起點最遠直線距離為 25.9cm。

4．基本型及 A1(減重型)的比較：

因 A1 型的重量比基本型重量減輕 10 克、整體刷毛蟲重心往振動子方向偏移，因此刷毛蟲的左右兩腳終點與起點間位移距離較基本型大，跑動過程中，最大位移量較基本大，但較加重型小。

5．基本型及 A1(加重型)的比較：

因 A2 型的重量比基本型重量加重 10 克、整體刷毛蟲重心往振動子另一方向偏移，因此刷毛蟲的左右兩腳終點與起點間位移距離較基本型大但較減重型小，跑動過程中，距起點最遠直線距離為三者中最大。

二、【實驗二】<u>研究振動子固定點對刷毛蟲對跑動軌跡的差異性</u>

操縱變因： **B.不同振動子固定點**

控制變因： A.相同刷毛蟲蟲體的總重量

C.相同振動子重量

D.相同刷毛腳排列方式

E.相同刷毛腳長度

F.相同刷毛腳材質

G.相同振動子粗細(直徑)

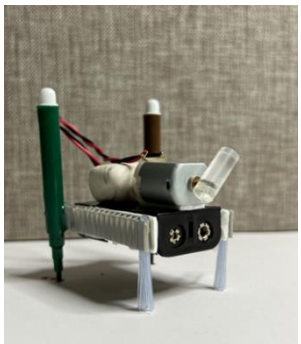
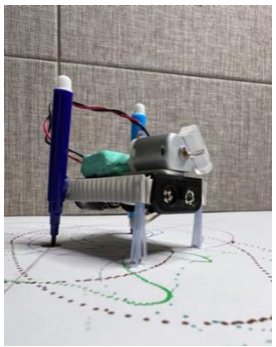
基本型、B1 型、B2 型刷毛蟲定義如下圖所示：

基本型刷毛蟲				
操縱變因	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	C.	振動子重量	0.83	g
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

B1型刷毛蟲				
操縱變因	B.	振動子固定點	距離前端1CM	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	C.	振動子重量	0.83	g
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

(一)實驗操作要點：

因為振動子的長度是 2cm，固定於刷毛蟲上的位置為距離前 0.5cm，實驗二的操縱變因為研究刷毛蟲振動子固定點對跑動軌跡的差異性，所以我們改變了振動子的固定點為振動子的中心點，也就是距離前端 1cm 處，其餘部分則完全比照實驗一啟動刷毛蟲跑動實驗前的操作要點。

	
基本型刷毛蟲的振動子固定點為距離前端 0.5cm	B1 型刷毛蟲的振動子固定點為距離前端 1cm

(二)實驗過程：

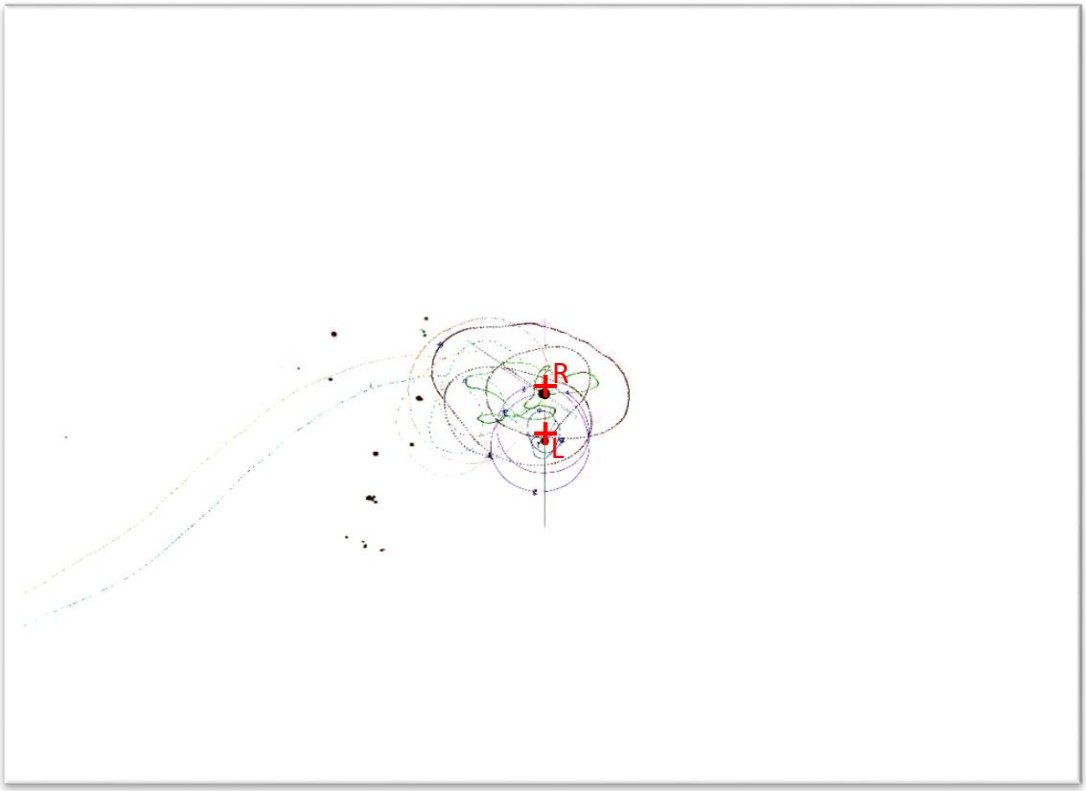
因為【實驗二】進行的是研究振動子固定點對刷毛蟲跑動軌跡的差異性，我們必須先針對基本蟲的振動子固定點進行討論：

1．基本蟲振動子固定點為距離前端 0.5cm，於是我們討論振動子固定的可能性為距離前端 1cm 與 1.5cm。因振動子長度為 2cm，距離前端 1cm 等同於

距離前端 0.5cm，因此振動子固定點的操縱變因，僅有振動子距離前端 0.5cm(下圖稱為基本型)與振動子距離前端 1cm(下圖稱為 B1 型)兩者的毛蟲比較實驗。

2．先後讓兩隻振動子固定點不相同的刷毛蟲，基本型、B1 型依照【實驗一】操作要點的步驟進行計時 10 秒鐘的跑動實驗。

(三)實驗記錄：

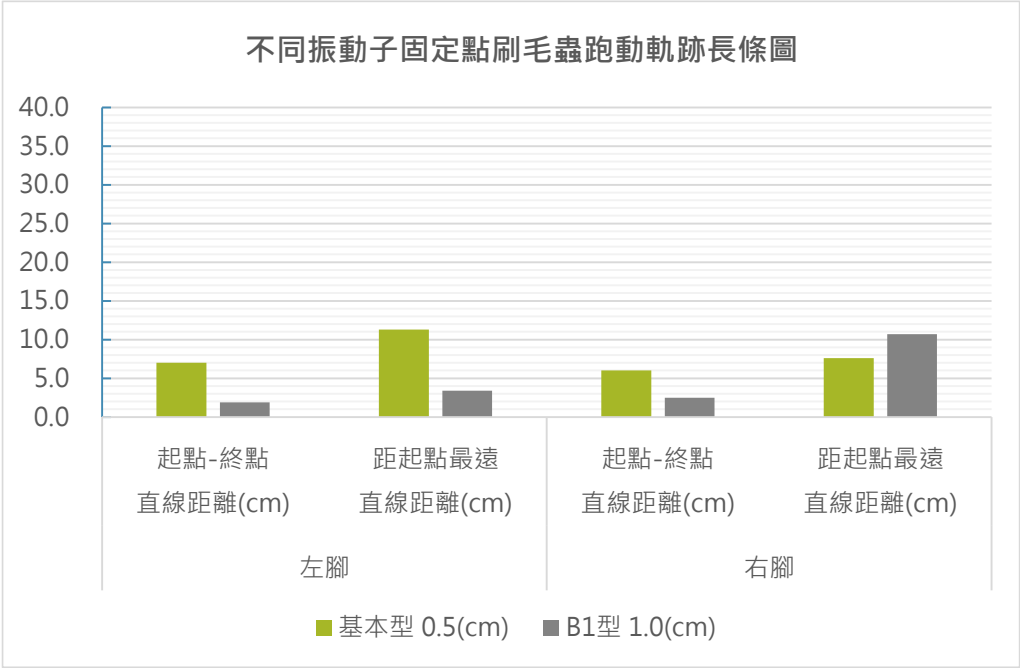


振動子不同固定點的刷毛蟲跑動軌跡圖

以下為兩種不同振動子固定點的刷毛蟲跑動軌跡記錄表：

刷毛蟲振動子固定點	左腳			右腳		
	旋轉方向(時針	起點-終點直線	距起點最遠直線	旋轉方向(時針	起點-終點直線	距起點最遠直線

與前端距(cm）		方向)	距離(cm)	距離(cm)	方向)	距離(cm)	距離(cm)
基本型	0.5	逆	7.0	11.3	逆	6.0	7.6
B1型	1.0	逆	1.9	3.4	逆	2.5	10.7



(四)實驗結果：

1．基本型刷毛蟲

與實驗一研究結果相同。

2．B1 型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 B1 型刷毛蟲左腳起點與終點直線距離位移了 1.9cm，右腳位移了 2.5cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 3.4cm， 右腳距起點最遠直線距離 10.7cm。

3．基本型及 B1 型(振動子固定點距離前端 1cm)的比較：

因為 B1 型振動子固定點從振動子前端 0.5cm 移至了振動子的中心點，兩

邊振動子的旋轉力臂皆等長達到了平衡，因此 B1 刷毛蟲的左右兩腳終點與起點間位移距離較基本型小，跑動過程中，不論左右腳起點至終點的距離及距離起點最遠的直線距離，Ｂ１型也都比基本型的位移距離短，唯一不變的是振動子都是逆時針方向旋轉。

三、【實驗三】<u>研究振動子重量對刷毛蟲對跑動軌跡的差異性</u>

操縱變因： **C.不同振動子重量**

控制變因：A.刷毛蟲蟲體的總重量

B.相同振動子固定點

D.相同刷毛腳排列方式

E.相同刷毛腳長度

F.相同刷毛腳材質

G.相同振動子粗細(直徑)

H.相同振動子長度

基本型、C1 型、C2 型刷毛蟲定義如下圖所示：

基本型刷毛蟲				
操縱變因	C.	振動子重量	0.83	g
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

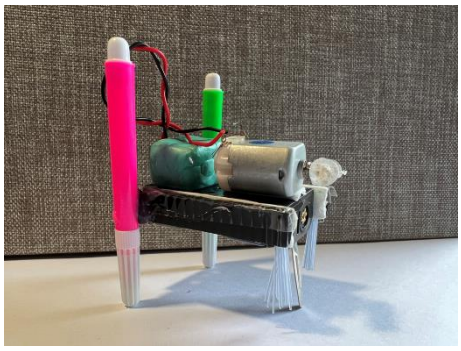
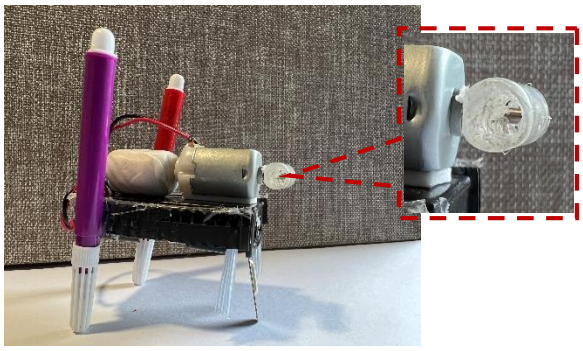
C1型刷毛蟲				
操縱變因	C.	振動子重量	0.73	g
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

C2型刷毛蟲				
操縱變因	C.	振動子重量	0.63	g
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑)	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

(一)實驗操作要點：

【實驗三】的操縱變因，是想討論不同重量的振動子可能對刷毛蟲跑動軌跡的影響，為了維持操縱變因是唯一變因，我們必須在不改變振動子長度及尺寸的原則下，去改變振動子的重量，在振動子上進行減重，我們選擇將細鐵棒加熱後，刺穿振動子抽出被融化的膠，來達到減重振動子的目的。並在

刺穿振動子的過程中，注意不能讓振動子變形增加變因，之後再將成功減重的振動子固定於刷毛蟲上。

	
利用加熱的鐵棒重複刺穿振動子，抽取出被融化的熱熔膠，讓振動子減 0.1g。	振動子減重 0.2g 的刷毛蟲，從放大圖可以看出振動子呈現中空狀。

(二)實驗過程：

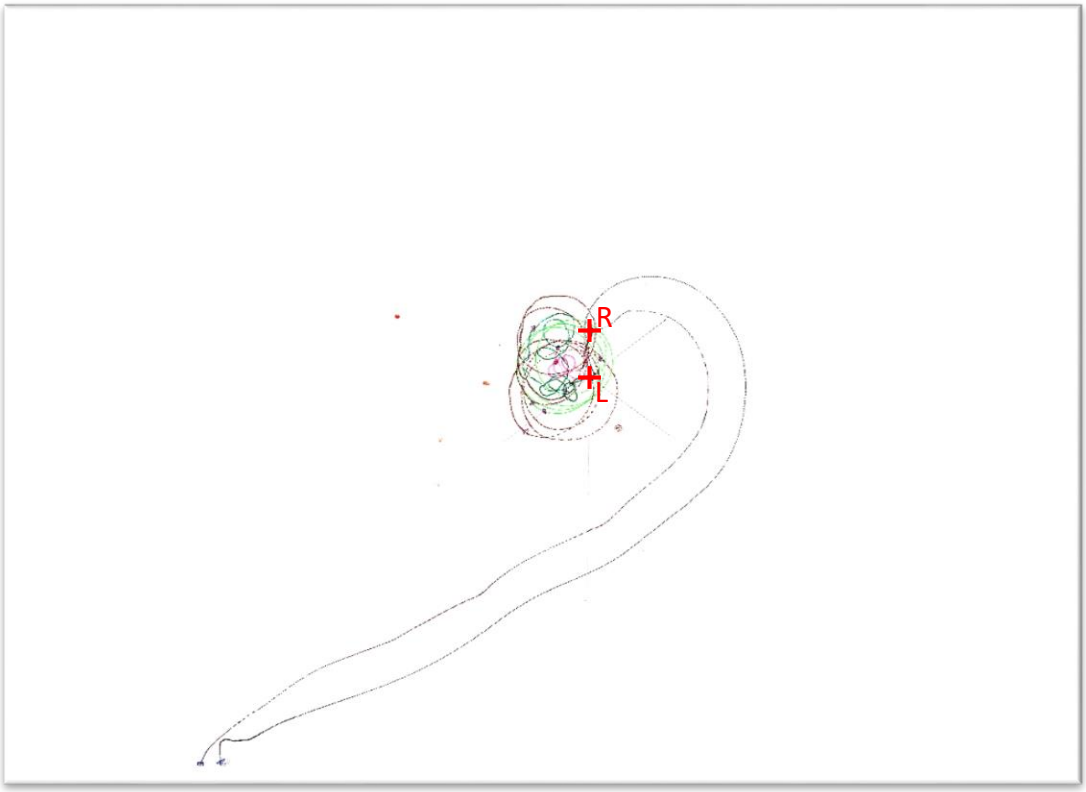
【實驗三】進行的是：研究振動子重量對刷毛蟲跑動軌跡的差異性，我們必須先針對基本蟲的振動子重量進行秤重並進行討論如何減重。

1．基本蟲振動子的重量為 0.83g，於是我們討論振動子的減重方式及減重後可能的重量為 0.73cm 與 0.63cm。

2．振動子直徑為 0.7cm，我們利用加熱的細鐵棒刺穿振動子後，抽出被融化的振動子，必須分次一小部分一小部分的抽取避免振動子變形，影響到振動子的直徑。經過多次的抽取我們得到兩個不同重量的振動子，分別為 0.73g、0.63g。

3．先後讓三隻振動子重量不相同的刷毛蟲，基本型、C1 型、C2 型依照【實驗一】操作要點的步驟進行計時 10 秒鐘的跑動實驗。

(三)實驗記錄：

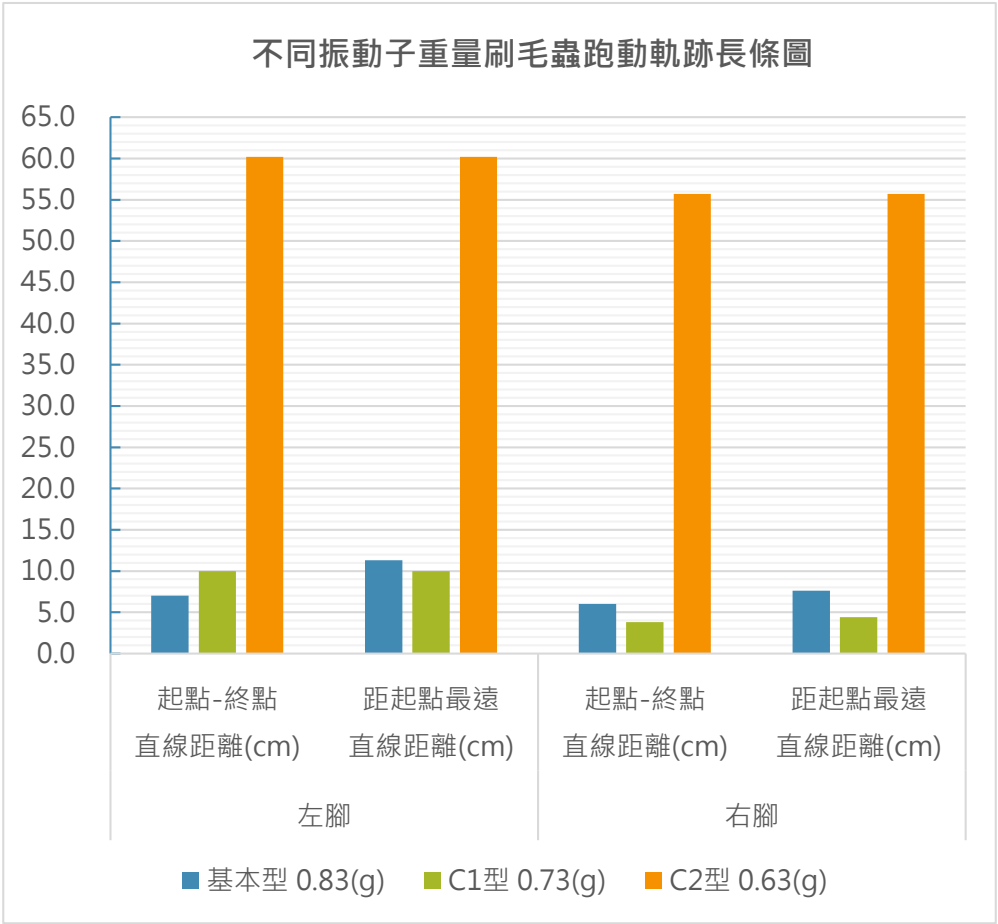


三種不同振動子重量的刷毛蟲跑動軌跡圖

以下為三種不同振動子重量的刷毛蟲跑動軌跡記錄表：

刷毛蟲振動子重量 (g)		左腳			右腳		
		旋轉方向(時針方向)	起點-終點直線距離(cm)	距起點最遠直線距離(cm)	旋轉方向(時針方向)	起點-終點直線距離(cm)	距起點最遠直線距離(cm)
基本型	0.83g	逆	7.0	11.3	逆	6.0	7.6

C1 型	0.73g	順	10.0	10.0	順	3.8	4.4
C2 型	0.63g	逆	60.2	60.2	逆	55.7	55.7



(四)實驗結果

1．基本型刷毛蟲

與實驗一研究結果相同。

2．C 1 型刷毛蟲－通電運轉後呈順時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 C 1 型刷毛蟲左腳起點與終點直線距離位移了 10.0cm， 右腳位移了 3.8cm， 運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 10.0cm， 右腳距起點

最遠直線距離為 4.4cm。

3．C 2 型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，C 2 型刷毛蟲左腳起點與終點直線距離位移了 60.2cm，右腳位移 55.7cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 60.2cm，右腳距起點最遠直線距離 55.7cm。且 C2 型刷毛蟲在 6.5 秒時，離開了實驗範圍(全開西卡紙)。

4．基本型與 C1 型(振動子減重 0.1g 為 0.73g)的比較：

因為 C1 型刷毛蟲的振動子重量比基本型刷毛蟲的振動子重量減少了 0.1g 所以刷毛蟲的旋轉方向從逆時針方向改變為順時針方向，除了這個明顯的改變外，從基本型及 C1 型刷毛蟲左右腳起點與終點直線距離和距起點最遠直線距離，兩者的實驗數據中看不出來振動子的重量對刷毛蟲的移動有任何規律的影響。

5．基本型及 C2 型(振動子減重 0.2g 為 0.63g)的比較：

因為 C2 型刷毛蟲的振動子重量比基本型刷毛蟲的振動子重量減少 0.2g，C2 型刷毛蟲在 6.5 秒時，便離開了實驗範圍(全開西卡紙)，

但 C2 型刷毛蟲和基本型刷毛蟲的運動方向，都是順時針方向。

四、【實驗四】<u>研究刷毛蟲刷毛腳排列方式對跑動軌跡的差異性</u>

操縱變因： **D.不同刷毛腳排列方式**

控制變因： A.刷毛蟲蟲體的總重量

B.相同振動子固定點

C.相同振動子重量

E.相同刷毛腳長度

F.相同刷毛腳材質

G.相同振動子粗細(直徑)

H.相同振動子長度

基本型、D1 型、D2 型、D3 型、D4 型、D5 型、D6 型、D7 型刷毛蟲定義，如下圖所示：

基本型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	OXX...	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

D1型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	OOO	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

D2型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	OXX	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

D3型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	XXO	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

D4型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	XOX	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

D5型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	OOX	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

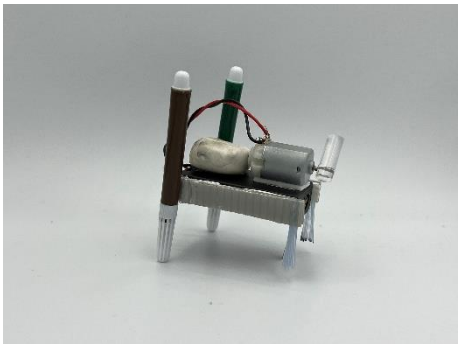
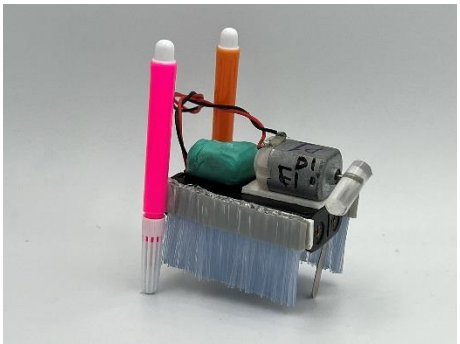
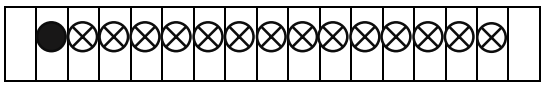
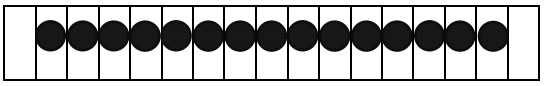
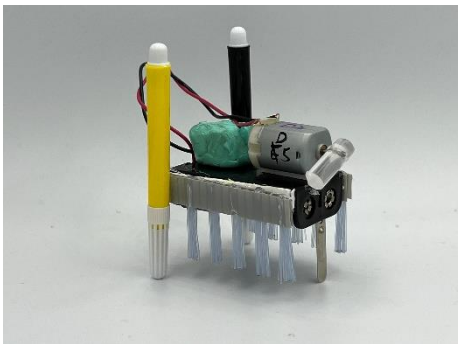
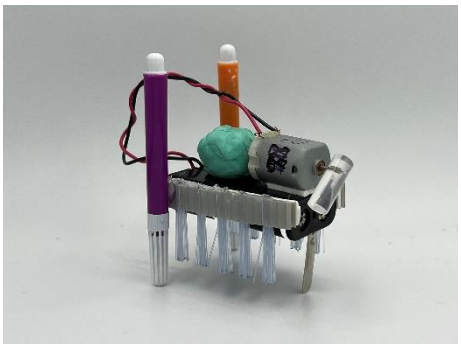
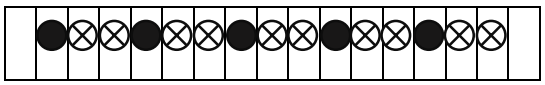
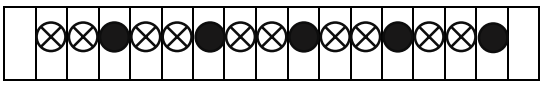
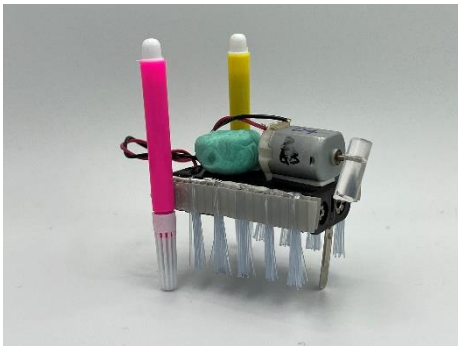
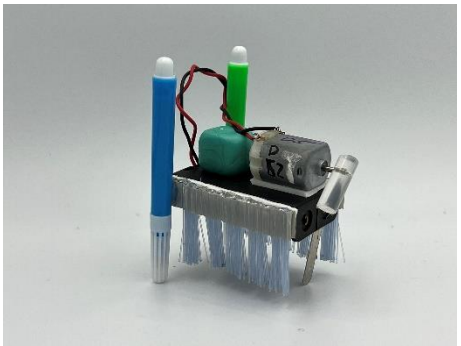
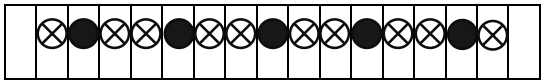
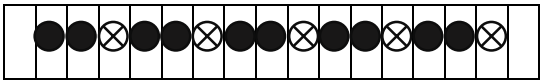
D6型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	XOO	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

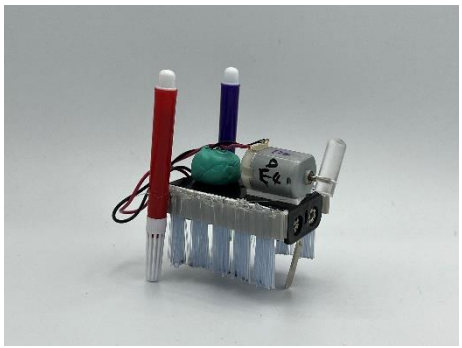
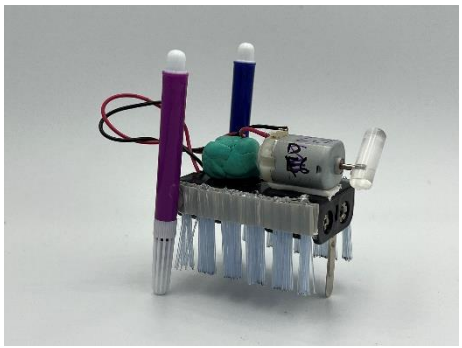
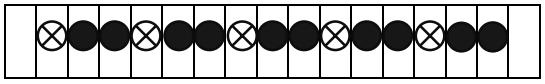
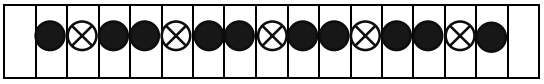
D7型刷毛蟲				
操縱變因	D.	刷毛腳排列方式	OXO	
控制變因	A.	刷毛蟲總重量	90	g
	B.	振動子固定點	距離前端0.5CM	
	C.	振動子重量	0.83	g
	E.	刷毛腳長度	2.0	cm
	F.	刷毛腳材質	塑膠毛刷	
	G.	振動子粗細(直徑	7.3	mm
	H.	振動子長度	2.0	cm

(一)實驗操作要點：

1．刷毛蟲刷毛腳的固定方式，利用尺寸 1cm(高)X6cm(長)塑膠瓦楞板當作蟲腳基座，並將其黏貼在電池盒兩側，每一片蟲腳基座有 17 個孔洞，基本蟲是將各 20 根的細塑膠毛刷，分別塞入左右兩側蟲腳基座的第一個孔洞位置，為了細塑膠毛刷可以有準確的對稱位置，在裁切及黏貼電池盒兩側的蟲腳基座時，必須特別注意塑膠瓦楞板孔洞及黏貼位置的精準度。

2．因為 6cm 長的蟲腳基座有 17 個孔洞，扣除前後兩個孔洞後的 15 個孔洞，以三孔為一單位安排刷毛排列，恰巧形成五次的刷毛排列方式循環。除了基本蟲刷毛腳的排列方式外，製訂出其餘七種刷毛腳的排列方式，如下圖所示：

	
 OXX……刷毛腳排列方式，是基本蟲的硬刷毛腳排列方式	 「D1 型」OOO 刷毛腳排列方式，是滿排的硬毛刷腳
	
 「D2 型」OXX 刷毛腳排列方式	 「D3 型」XXO 刷毛腳排列方式
	
 「D4 型」XOX 刷毛腳排列方式	 「D5 型」OOX 刷毛腳排列方式

	
 「D6 型」XOO 刷毛腳排列方式	 「D7 型」OXO 刷毛腳排列方式

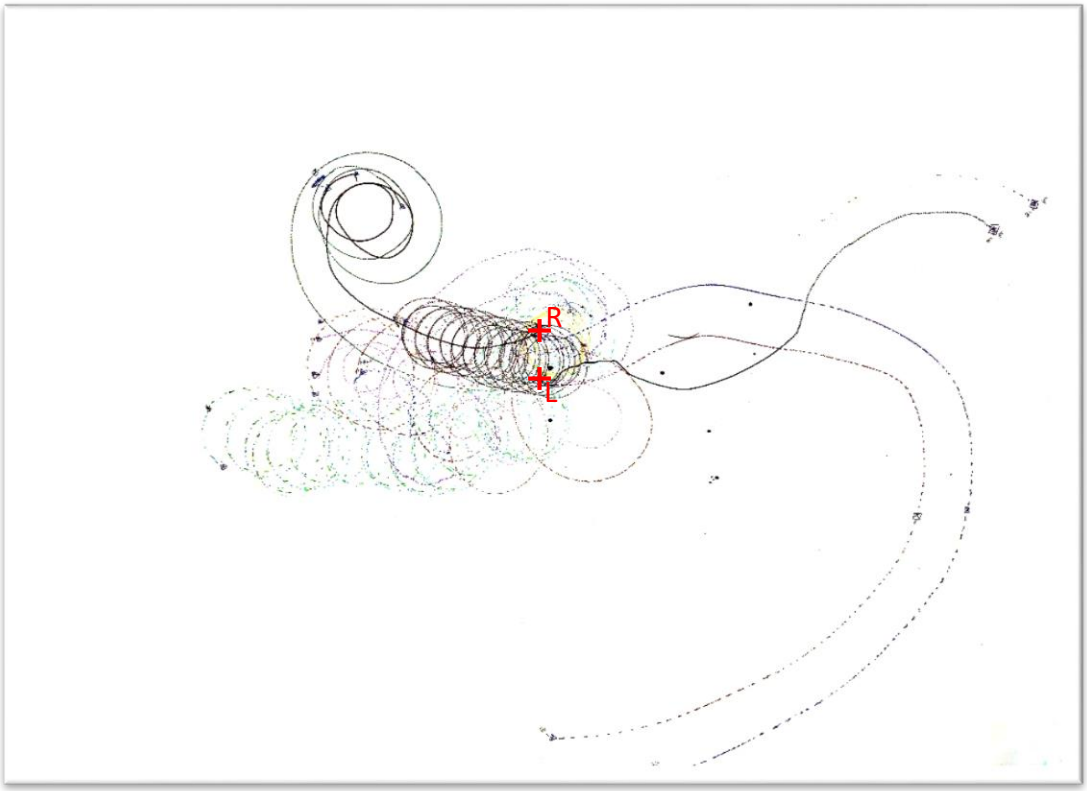
(二)實驗過程：

【實驗四】進行的是：硬刷毛排列方式對跑動軌跡的影響，我們先針對蟲腳基座的孔洞來規劃刷毛腳的排列方式，重量並利用配重子的配重讓不同刷毛腳排列方式的刷毛蟲，並不會因為刷毛腳的增減而改變總蟲重。

依序讓刷毛腳排列方式不同的刷毛蟲，稱為基本型、D1 型、D2 型、D3 型、D4 型、D5 型、D6 型、D7 型，共八種不同刷毛腳排列方式的刷毛蟲，

依照【實驗一】操作要點的步驟進行計時 10 秒鐘的跑動實驗。

(二)實驗記錄：

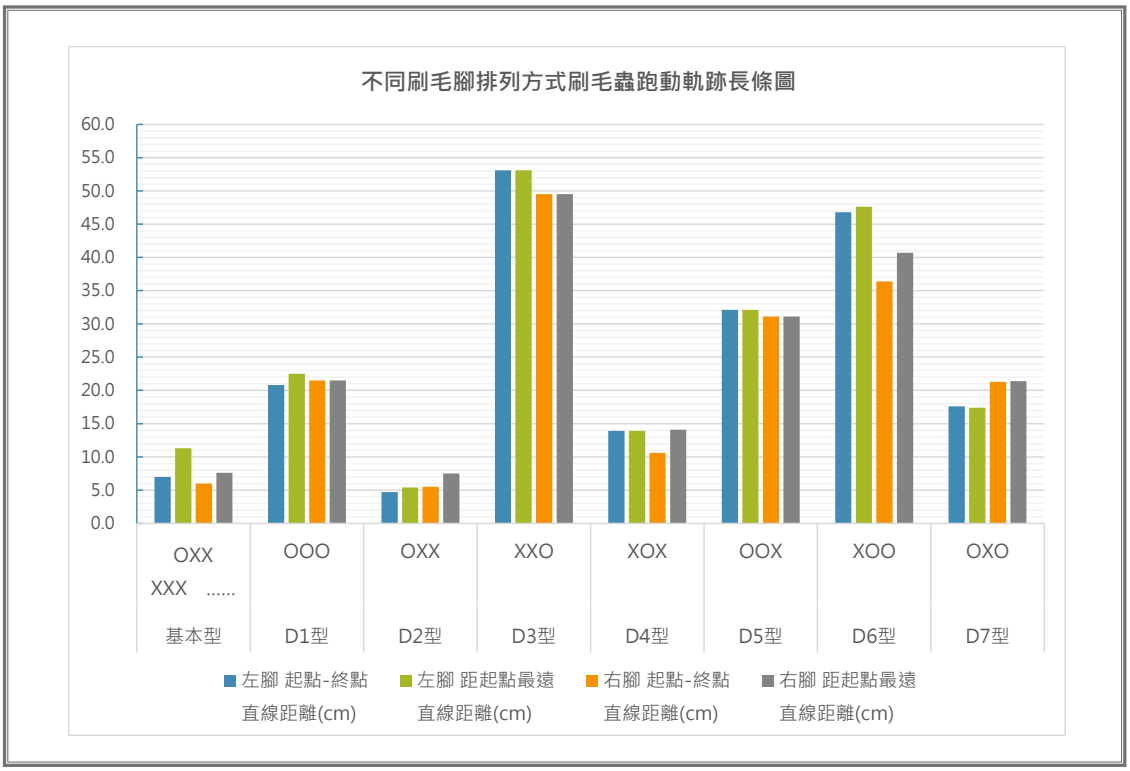


八種不同刷毛腳排列方式刷毛蟲跑動的軌跡圖

以下為八種不同刷毛腳排列方式刷毛蟲跑動軌跡記錄表：

刷毛蟲刷毛腳排列方式		左腳			右腳		
		旋轉方向(時針方向)	起點-終點直線距離(cm)	距起點最遠直線距離(cm)	旋轉方向(時針方向)	起點-終點直線距離(cm)	距起點最遠直線距離(cm)
基本型	OXX XXX ……	逆	7.0	11.3	逆	6.0	7.6

D1型	OOO	逆	20.8	22.5	逆	21.5	21.5
D2型	OXX	順	4.7	5.4	順	5.5	7.5
D3型	XXO	無旋轉	53.1	53.1	無旋轉	49.5	49.5
D4型	XOX	逆	13.9	13.9	逆	10.6	14.1
D5型	OOX	逆	32.1	32.1	逆	31.1	31.1
D6型	XOO	順	46.8	47.6	順	36.4	40.7
D7型	OXO	逆	17.6	17.4	逆	21.3	21.4



(四)實驗結果：

1．基本型刷毛蟲

與實驗一研究結果相同。

2．D1 型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 D1 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 20.8cm，右腳位移了 21.5cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 22.5cm，右腳距起點最遠直線距離為 21.5cm。

3．D2 型刷毛蟲－通電運轉後呈順時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 D2 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 4.7cm， 右腳位移 5.5cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 5.4cm， 右腳距起點最遠直線距離為 7.5cm。

4．D3 型刷毛蟲－通電運轉後呈現無旋轉移動，因作用力與反作用力的影響，讓 D3 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 53.1cm，右腳位移了 49.5cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 53.1cm 右腳距起點最遠直線距離為 49.5cm，且 D3 型刷毛蟲在 5.0 秒時，離開了實驗範圍(全開西卡紙)。

5．D4 型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 D4 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 13.9cm， 右腳位移了 10.6cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 13.9cm， 右腳距起點最遠直線距離為 14.1cm。

6．D5 型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 D5 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 32.1cm，右腳位移了 31.1cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 32.1cm， 右腳距起點最遠直線距離為 31.1cm。

7．D6 型刷毛蟲－通電運轉後呈順時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 D6 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 46.8cm，右腳位移了 36.4cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 47.6cm，右腳距

起點最遠直線距離為 40.7cm，且 D6 型刷毛蟲在 5.0 秒時，離開了實驗範圍(全開西卡紙)。

8．D7 型刷毛蟲－通電運轉後呈逆時針方向旋轉，因作用力與反作用力的影響，讓 D6 型刷毛蟲左腳起點至終點直線距離位移了 17.6cm，右腳位移了 21.3cm，運轉過程中左腳距起點最遠直線距離為 17.4cm，右腳距起點最遠直線距離為 21.4cm。

9．基本型及 D1 型(刷毛腳排列方式 OOO)的比較：

因為 D1 型刷毛蟲的刷毛腳排列為滿排(兩側各 15 隻腳)排列，正常來說應該會比基本型的刷毛腳摩擦力大，但卻因為刷毛蟲是以跳動的方式運動並非平移，所以刷毛腳本身的反作用力大於刷毛腳點狀接觸面積所產生的摩擦力，因此 D1 型刷毛蟲的左右兩腳起點至終點直線距離及距起點最遠直線距離的位移距離皆較基本型大，但兩者的旋轉方向皆為逆時針方向。

10．基本型及 D2 型(刷毛腳排列方式 OXX)的比較：

基本型的刷毛腳僅有左右兩側各一隻腳，D2 型的刷毛腳則左右各有五隻腳，兩者皆從第一孔洞位置開始設置蟲腳，但 D2 型因為後方多增加的刷毛腳會產生摩擦力，造成 D2 型左右兩腳起點至終點直線距離及距起點最遠直線距離的位移距離皆較基本型小。

11．基本型及 D3 型(刷毛腳排列方式 XXO)的比較：

基本型的刷毛腳僅左右兩側各一隻腳，D3 型的刷毛腳則左右各有五隻腳正常來說 D3 型的刷毛腳因數量較多應該摩擦力會較大，但因基本型從第一孔洞位置開始設置蟲腳，D3 型則是從第三個孔洞才開始設置第一隻刷毛腳，位置接近馬達中心，有助於力的傳播讓反作用力抵銷摩擦力，加上第一、二孔位皆未設置刷毛腳，有助於刷毛蟲啟動時重心往前，所以 D3 型幾乎無旋轉，而是先往左後再往右接著又往左大幅度偏移前進，所以 D3 型左右腳起點至終點直線距離及距起點最遠距離是相同的，距離也都較基本型大。

12．基本型及 D4 型(刷毛腳排列方式 XOX)的比較：

基本型的刷毛腳僅有左右兩側各一隻腳，D4 型的刷毛腳則左右各有五隻腳，但基本型從第一孔洞位置開始設置蟲腳，D4 型則從第二個孔洞才開始設置刷毛腳，有助於刷毛蟲重心往前來抵銷摩擦力，使 D4 型左右兩腳起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移距離都較基本型大。

13．基本型及 D5 型(刷毛腳排列方式 OOX)的比較：

D5 型刷毛蟲的刷毛腳排列左右兩側各有 10 隻腳，正常來說應該會比基本型僅左右兩側各一隻腳的摩擦力大，但卻因為刷毛蟲是以跳動的方式運動並非平移，所以刷毛腳本身的反作用力大於刷毛腳點狀接觸面積所產生的摩擦力，因此 D5 型刷毛蟲的左右兩腳起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移距離皆較基本型大。

14．基本型及 D6 型(刷毛腳排列方式 XOO)的比較：

D6 型刷毛蟲的刷毛腳排列左右兩側各有 10 隻腳，正常來說應該會比基本型僅左右兩側各一隻腳的摩擦力大，但卻因為刷毛蟲是以跳動的方式運動並非平移，所以刷毛腳本身的反作用力大於刷毛腳點狀接觸面積所產生的摩擦力，因此 D6 型刷毛蟲的左右兩腳起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移距離皆較基本型大。

15．基本型及 D7 型(刷毛腳排列方式 OXO)的比較：

D7 型刷毛蟲的刷毛腳排列左右兩側各有 10 隻腳，正常來說應該會比基本型僅左右兩側各一隻腳的摩擦力大，但卻因為刷毛蟲是以跳動的方式運動並非平移，所以刷毛腳本身的反作用力大於刷毛腳點狀接觸面積所產生的摩擦力，因此 D7 型刷毛蟲的左右兩腳起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移距離皆較基本型大。

16．D2 型、D3 型、D4 型(刷毛腳排列方式 OXX、XXO、XOX)的比較：

D2 型、D3 型、D4 型三隻刷毛蟲的刷毛腳左右兩側各為 5 隻刷毛腳，除了旋轉方向因為刷毛腳排列方式不同，影響刷毛蟲受力方向，造成運動軌跡改變，因此 D2 型及 D4 型的旋轉方向各不相同外，D3 型更是呈現了無旋轉方向而是直接左右偏移，從上述的跑動軌跡記錄，我們推測：

(1)D2 型刷毛蟲有可能因為從第一孔洞設置刷毛腳，刷毛蟲啟動時重心往前的摩擦力較大，因此是三隻刷毛蟲中起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移是三者中最小的。

(2)D3 型刷毛蟲有可能因為從第三孔洞才開始設置刷毛腳，比較接近馬達中心位置，有助於力的傳播，加上第一、二孔洞皆未設置刷毛腳，使得刷毛蟲重心往前來抵銷部分摩擦力，因此起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移是三者中最大。

(3)D4 型刷毛蟲可能因為從第二孔洞開始設置刷毛腳，第一孔洞未設置刷毛腳，有助於刷毛蟲重心往前來抵銷部分摩擦力，因此起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移比 D2 型大卻比 D3 型小，也是三者中最接近基本蟲的跑動距離的。

17．D5 型、D6 型、D7 型(刷毛腳排列方式 OOX、XOO、OXO)的比較

D5 型、D6 型、D7 型三隻刷毛蟲的刷毛腳皆為左右兩側各 10 隻刷毛腳，因為排列方式不同， 所以 D7 型的左右兩腳起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移為三者中最小；D6 型的左右兩腳起點至終點間距及距起點最遠直線距離的位移是三者中最大；D5 型的左右兩腳起點至終點間距及距起點最遠直線距離的位移，則比 D7 型大卻比 D6 型小。旋轉方向也因為排列方式不同，影響刷毛蟲受力方向，造成運動軌跡改變，因此 D5 型及 D7 型的旋轉方向為逆時針方向，D6 型卻為順時針方向。

從上述的跑動軌跡記錄，我們推測：

(1)D6 型刷毛蟲有可能因為在第二及三孔洞設置刷毛腳，比較接近馬達中心位置，有助於力的傳播且連續兩個孔洞皆有刷毛腳反作用力會更大，加上第一孔洞並未設置刷毛腳而是從第二個孔洞才開始設置，有助於刷毛蟲重心往前來抵銷部分摩擦力，因此是三隻刷毛蟲中，起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移是三者中最大。

(2)D7 型刷毛蟲則有可能因為在第一及三孔洞設置刷毛腳，雖然第三孔洞接近馬達中心位置，有助於力的傳播，但也因為第一孔洞設置刷毛腳，刷毛

蟲啟動時重心往前的摩擦力較大，因此是三隻刷毛蟲中起點至終點間距及距起點最遠直線距離的位移是三者中最小的。

(3)D5 型則有可能因為在第一及第三孔洞設置刷毛腳，雖然第三孔洞接近馬達的中心位置，有助於力的傳播，但也因為第一孔洞有設置刷毛腳，造成刷毛蟲在啟動時重心往前的摩擦力較大，因此是三隻刷毛蟲中起點至終點間及距起點最遠直線距離的位移是比 D7 型大卻比 D6 型小。

伍、討論:

一．實驗「過程」討論:

在實驗的過程中，我們試圖討論出各種不同操縱變因的可能性，其中包括刷毛腳材質、刷毛腳粗細、振動子粗細、振動子長度等……但最終發現，在改變材質或是粗細長度等操縱變因的同時，也會同時改變刷毛腳或是振動子的重量，所以並無法達成操縱變因是唯一變因，因此在決定操縱變因時並不如想像中有很多的選擇性與自由度。

當我們做出第一隻基本蟲時，我們一樣忽略了，操縱變因的改變可能會跟蟲重有關，一開始我們直接設定基本空蟲為基本蟲重，但僅僅是基本蟲完成的材料加上電池重量就有一個無法調整的基本重量，所以當操縱變因會影響到蟲重時，我們會無法針對蟲重做減重，於是我們在第一階段實驗到一半時，面臨到必須重新設定蟲重的問題，了解必須先估算製作基本蟲過程中材料的重量，將蟲重設定到最重，於是重新調整基本蟲重並重新規劃實驗的操縱變因。

開始跑實驗之後，我們發現同樣的基本蟲在相同的實驗條件下，跑出來的運動軌跡都不甚相同，實驗範圍(全開的西卡紙)有可能採買時的磅數不同或是我們放置西卡紙的位置，如桌面上和地板上，甚至是單手或是雙手放置刷毛蟲來啟動實驗，都有可能影響刷毛蟲開始執行跑動時的軌跡，因此我們學習到必須以更嚴謹的態度來執行這次刷毛蟲的實驗，我們決定在同一張桌子同一個位置，還去紙廠裁切 250 磅同一刀的西卡紙，並且每一次的跑動實驗都由同一個人啟動，只希望

能夠降低環境因素可能對刷毛蟲跑動軌跡的影響。

二・實驗「結果」討論:

從實驗一到實驗四，我們以基本蟲為基準，更換不同的操縱變因去執行實驗。基本型刷毛蟲是我們串聯各項實驗的主角，但實驗結果出爐，整理數據時卻發現，基本型刷毛蟲每一次實驗執行出來的軌跡路線都會有些微的差異。但是我們已經盡量控制實驗的環境，讓環境因素的影響降到最低。我們回頭檢討我們的刷毛蟲，在每一次實驗中，基本蟲都必須執行跑動來與不同操縱變因的刷毛蟲進行跑動軌跡的比較，因此基本蟲是執行最多次跑動的，所以推測同一隻基本型刷毛蟲會跑出不同的軌跡差異可能的原因：

(一) 振動子的材質是熱熔膠條，膠條本身的熔點偏低，在基本蟲多次跑動後，有可能會因為馬達軸心過熱，導致振動子的固定點被稍微融化，影響到振動子的固定旋轉，因而間接影響到刷毛蟲的行進軌跡。

(二) 基本蟲經過多次跑動後，有可能電池的電量比起不同操縱變因的刷毛蟲，是相對電池電量較低的，畢竟每一隻不同操縱變因的刷毛蟲都是採用全新的電池去執行跑動，跑動次數也不如基本型刷毛蟲來的多。

針對以上我們推測的兩個問題點，我們想可能的解決方式有：

(三) 我們必須準備數個全新的電池及尺寸、粗細、固定點都相同的全新振動子讓每一次執行跑動的基本蟲，盡量不會因為經過多次跑動，有電力損耗或是材質磨損的問題。

(四) 我們重新規劃在同一時間、同一位置(桌面)、同樣的實驗面積(250 磅全開西卡紙)，由同一個人放置基本蟲，連續執行五次，每次皆更換全新振動子的基本蟲跑動實驗，在跑動實驗後觀察並討論基本蟲運動軌跡的旋轉方向、左右腳起點至終點直線距離及距起點最遠直線距離的位移，並從中計算出平均值。

基本刷毛蟲重覆五次跑動軌跡記錄圖如下：

陸、結論:

一、【實驗一】我們發現刷毛蟲的重量會影響重心，加上慣性原理，重量越重跑得越快，但也可能因為摩擦力越大會同時影響到刷毛蟲的運動軌跡。

二、【實驗二】時，我們因為改變了振動子的固定點，讓振動子的旋轉達到一個平衡，導致刷毛蟲在跑動時，跑出一個幾乎接近圓形的軌跡。可見振動子的平衡與否，是會影響刷毛蟲的運動軌跡。

三、【實驗三】是四個實驗中，我們覺得最有空間被改進的，因為振動子本身的重量就不重，所以我們能夠針對震動子減重的空間有限，尤其為了不影響振動子的長短粗細，我們選擇利用熱去融化振動子，但兩隻振動子被減重的刷毛蟲也僅僅各只有 0.1 克的差異，加上電子秤本來也會有些許誤差，所以在這麼小的差距下，很難真正做到最精準的重量，熱融化振動子的過程也很難僅靠肉眼

就看出，振動子有因為受熱是否有些微的變形？所以振動子減重差異不大加上減重過程的可能出現的誤差，讓我們很難從實驗三的實驗結果做出任何判斷。也是此次研究過程中，我們最想改進的地方。

四、【實驗四】是我們覺得最豐富有趣的實驗，從刷毛腳的數量跟排列，我們觀察刷毛腳排列方式，對於刷毛蟲啟動時重心往前的阻力、摩擦力的產生與力的傳播三者之間的關係，即便刷毛腳排列方式僅有微小的差異，卻都大大不同的表現在刷毛蟲的運動軌跡上，形成一幅幅有趣又獨一無二的藝術品。

五、經過這段時間數次來來來回回的刷毛蟲跑動實驗，我們期許在未來規劃實驗時，能夠從最初期採買材料或工具時，就達到最理想的狀況，讓實驗結果能夠達到最精準的成果之外，針對刷毛蟲我們希望可以從刷毛腳的排列方式中，找出一種能夠再進化改良的排列方式，甚至搭配程式控制，自己設計出一隻可以由指令控制運動軌跡的刷毛蟲。

柒、參考資料

梅期光 . (2016). 振動鐵線蟲 VS 震動刷毛蟲. 物理雙月刊， 38(6)， 61－66. https://pb.ps-taiwan.org/modules/news/article.php?storyid=262

. (n.d.). 爆走毛刷. NTCU 科學遊戲實驗室. http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-036.html

Arvind Gupta . (2011， July 16). BRUSH IN RUSH - ENGLISH - 20MB. Toys for Science and Math Education. https://www.youtube.com/watch?v=G7wS98eEqTY