

作品名稱:振振有馳

摘要：

在玩具DIY社團知道了這個簡單又好玩的遊戲後，大家都非常興奮，想要知道刷刷車是怎樣跑的原因？也想製造出跑得最快的刷刷車與同學較勁，我們從三個方向進行探索，分別是（1）刷毛的形狀與長短、（2）原子筆芯的樣態、車的重心跟（3）刷刷車的競技場等因素，來探討影響刷刷車行進的原因？在老師的鼓勵下，我們進行一連串的實驗，從研究結果發現：刷刷車的前進受到幾個方面的影響：

（1）刷毛方面：毛長、毛量、與地的接觸面和高低差的影響（2）筆芯方面：彎曲角度、長短、重量等等方式的影響（3）競技場方面：底板的材質、底板的傾斜程度的影響

研究動機：

上玩具DIY社團課的時候，老師教我們自製一個好玩的玩具，材料容易取得又可隨自己創意製作，形狀變化多又好玩。只要一根原子筆芯、一個小馬達加上一個洗衣刷，就能夠進行我們的跑標遊戲了。我從來沒想過原來沒有手機、平板也能這麼好玩。隨便的幾樣東西就能做出一個戰鬥遊戲，而且可以隨自己的創意改變裝置，讓自己的刷刷車變強，為了瞭解影響它前進的原因有哪些？還有改進我的刷刷車速度，我們幾個同學去找老師看看如何改良，老師也覺得有趣，說這是個好的主題，可讓我們學習「製作各種不同的玩具，體會「力」有多種，力可使物體動起來」的概念。就鼓勵我們去探討看看。

壹、研究目的

- 一、如何控制刷刷車前進方向
- 二、探討影響刷刷車行走快慢的因素
- 三、找出怎樣增強速度以打敗對手的設計方法

貳、研究設備及器材

材料：洗衣刷、小馬達、電池、筆芯、剪刀、雙面膠, 紙黏土

參、研究過程或方法

一、材料觀察與說明：

（一）由於市面上洗衣刷種類繁多，礙於經費與時間有限，我們先選擇一種最常見又容易取得的洗衣刷作為研究材料。

（二）由於洗衣刷的構造影響我們的研究很深，所以有必要對它做描述，根據觀察此種洗衣刷的外觀如下

1. 刷背殼: 塑膠材質，形狀略呈長方形，長約 12 公分，寬約 5.5 公分
2. 刷毛: 塑膠材質，刷毛長約 2 公分，參差不齊，為研究方便，統一剪成 1.5

公分

3. 刷毛分布:長排共 5 排，前後兩排有 13 撮，中間三排有 12 撮，每一撮距離約 1 公分，一撮約有 70 根刷毛

4. 刷重:60 公克

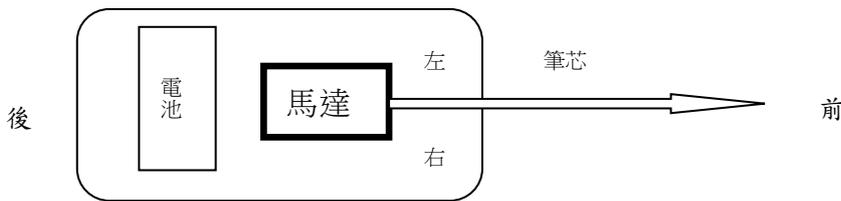
5. 筆芯:長 14 公分

(三) 刷刷車的結構與作動:

1. 刷刷車的結構:

依據老師的教導將刷刷車作如下的組裝:

(刷刷車 1 號)



(ㄅ)電池中心裝於離刷後緣 2 公分，左右各 2.2 公分的位置

(ㄆ)馬達中心裝於離刷後緣 6 公分，左右各 2.2 公分的中心位置

2. 刷刷車的作動:

完成後，我們將馬達啟動，發現筆芯的轉動帶動了刷刷車的振動，而使得刷刷車做不定向的移動。

二、 如何控制刷刷車的移動方向？

(一) 實驗說明：因為我們的目的是想要找出跑得快的刷刷車，所以首先要對刷刷車的移動能找出定向的方法

(二) 實驗步驟：根據觀察我們假設影響刷刷車的移動方向因素，可能有兩個大方向：1. 筆芯的轉動方向 2. 刷毛的樣態

所以我們設計幾個方式來測試：

1、 筆芯的轉動方向:順時針與逆時針

(1) 先將刷刷車 1 號的馬達與電池連接，讓筆芯成順時針轉動

(2) 在刷刷車中心刷毛塞進染色棉花，以記錄路徑

(3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒, 紀錄變化

(4) 再將馬達與電池線路反接，讓筆芯呈逆時針轉動再做紀錄

(5) 順逆時針各做 3 次，紀錄變化

變因 項目	順時針	逆時針
移動路徑		

文字描述	刷刷車往右做順時針繞圈行進	刷刷車往右做順時針繞圈行進
分析	1. 作動方向並無多大差別 2. 顯然刷刷車的移動方向與筆芯的旋轉方向無關	

2、 刷毛形狀：

- (1) 將刷刷車 1 號刷毛的形狀分別剪成 (∟) 等腰三角形、(○) 圓形、(□) 正方形、(▭) 長方形、(◇) 平行四邊形與(◇) 菱形等等來測試(剪刀加熱會較好剪)
- (2) 在刷刷車中心刷毛塞進染色棉花，以記錄路徑
- (3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒, 紀錄變化

項目 \ 變因						
移動路徑						
文字描述	向左上偏行，成弧狀橫行	原地打轉	原地打轉	向左上弧形斜行	向右上弧形橫走	原地打轉
分析	1. 圓形與正方形受制於原本刷子的形狀限制，接觸面變得很小，較不適合我們的設計要求 2. 三角形、長方形與平行四邊形較有往固定方向前行的可能性 3. 顯然刷刷車的底面刷毛形狀無法控制讓它向前直線移動 4. 平面上的變化顯然不容易達到我們的需求，所以我們改變高低差來試看看					

3、 刷毛的長短：

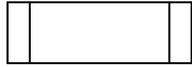
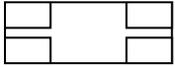
- (1) 以刷刷車 1 號原本的刷毛形狀為基本接觸面
- (2) 將刷毛依最長 1.5 到最短 0.5 的方式斜剪成：(∟) 前長後短 (∟) 前短後長

- (3) 在刷刷車中心刷毛塞進染色棉花，以記錄路徑
 (4) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒, 紀錄變化

項目 \ 變因	前短後長	前長後短
移動路徑		
文字描述	向左前有點弧度斜進	向右後斜退
分析	<p>1. 因實驗時筆芯會觸碰到地面，所以剪成 5 公分長度</p> <p>2. 雖然還是有點歪斜，不能跑直線，但是可以確立的是往毛短的方向移動，顯然高低差有可能控制它的方向</p> <p>3. 因整面的毛刷的數量多，影響接觸面使得方向不好控制。</p> <p>4. 所以我們想到改以車子的輪子形式，兩輪、三輪、四輪的方式來試試，找看看是否較好控制</p>	

4、毛刷的接觸面：

- (1) 將刷刷車 1 號刷毛剪成 (丿) 兩腳 (乚) 三腳 (凵) 四腳 (如圖)
- (2) 高低的傾斜面依前一實驗方式，剪成前短後長
- (3) 在刷刷車中心刷毛塞進染色棉花，以記錄路徑
- (4) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒, 紀錄變化

項目 \ 變因			
移動路徑			
文字敘述	向左前較傾斜有點弧度	向左前斜行	向左前有點弧度的斜行

	的斜行		
分析	1. 方向有比較一致性，會往左行 2. 我們猜想，前面的接觸面是否有不整齊造成的現象 3. 由於目前只剩前面的毛長關係，所以我們就針對前面的接觸來做處理		

5、毛刷的接觸點的高低：(丿)左短右長(夕)左長右短

- (1) 以上面實驗四腳接觸的車型來做實驗(因為它的路徑較符合我們的需求)
- (2) 改將刷刷車的筆芯豎立起來與地面呈垂直方向，解決與地面碰撞的情形發生
- (3) 將前面兩邊的毛長，剪成相差 2 公分
- (4) 形成(丿)左短右長(夕)左長右短 兩組型式
- (5) 在刷刷車中心刷毛塞進染色棉花，以記錄路徑
- (6) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒,紀錄變化

變因 項目	左短右長	左長右短
移動路徑		
移動距離(cm)	向左前斜行	向右前斜行
分析	1. 大概能控制前進的方向了 2. 只不夠還不盡理想，不能往前行，而是斜行 3. 事後有經過前面刷毛的整理，做出往前行的車子三台，但是修剪的情況都不近相同，所以沒有統一的作法。因為刷毛點的影響因素各個刷子不同而異 4. 不過大致的方向都能掌控了，細微部分，就只能靠個人做修剪細部微調了	

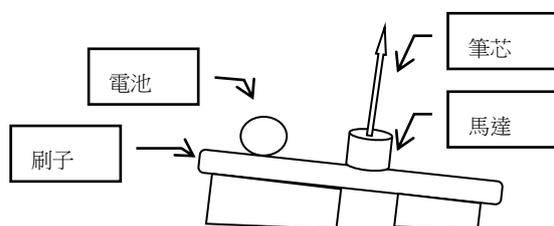
(三)實驗討論：由上述的實驗我們發現，控制刷刷車的走向

- 1、與底面形狀關係不大

- 2、與刷毛高低差的關係較大
- 3、大方向的決定因素可以掌控了，不過細微的調整要不斷的嘗試錯誤來讓車子直行。
- 4、由於刷毛的剪裁不易，使得變數不易掌控。
- 5、雖然不能一步到位的完成控制直行的步驟，不過比起完全沒方向的從利用新刷子來做嘗試錯誤的修正方式快多了。

三、是什麼影響刷刷車的速度？

(一) 實驗說明：我們想要瞭解是什麼因素影響到刷刷車的直線前進速度，根據前面的實驗，我們得到能直線前進的四腳接觸刷刷車(我們稱其為刷刷車 2 號)，所以接下來的實驗就以此模式的裝置來進行測試



(刷刷車 2 號)

(二) 實驗步驟：

6、筆芯的長短：

- (1) 將刷刷車 2 號的筆芯剪成 (ㄅ) 14 公分 (ㄆ) 12 公分 (ㄇ) 9 公分 (ㄏ) 6 公分 (ㄏ) 3 公分等五種型式
- (2) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒，測量移動距離
- (3) 各種型式跑 5 次，求平均值

變因 項目	14 公分	12 公分	9 公分	6 公分	3 公分
移動距(cm)(四捨五入取至整數)	82、81、 82、82、 81	82、81、 82、82、 82	81、81、 82、81、 81	76、75、 75、74、 76	73、72、 73、73、 72
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	82	82	81	75	73
分析	1. 由以上的數據說明，以剪成 14 公分、12 公分、9 公分的車速較快 2. 整體來講有越長越好的趨勢 3. 不過 14 公分、12 公分跟 9 公分相差不大				

7、 筆芯的彎折長短：

- (1) 將刷刷車 2 號的筆芯(14 公分)由上往下折曲 (丿) 0 公分 (ㄣ) 2 公分(冂)7 公分(匚)9 公分四種型式
- (2) 以膠帶固定，使成 90 度彎曲
- (3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒, 測量移動距離
- (4) 各種模式跑 5 次, 求平均值

項 目 \ 變 因	0 公分	2 公分	7 公分	9 公分
移動距(cm)(四捨五入取至整數)	84、81、82、82、81	87、87、88、86、87	83、84、84、84、84	83、84、82、83、83
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	82	87	84	83
分析	1. 由於筆芯不夠堅硬，以致轉動會呈現紡錘型的轉動方式，故改以粗筆芯來作實驗 2. 由以上的數據說明，以彎下 2 公分的車速較快 3. 折曲下來的長度有越短越快，不過沒折曲的反而最慢 4. 這可能跟轉動的速度有關，折曲越少的轉得較快，沒折曲的轉得最快，但因為沒折曲，造成的振動力量較小。			

8、 筆芯加重的位置：

- (1) 將刷刷車 2 號的筆芯的(丿)最上端(ㄣ)中間(冂)最底端 各黏一圈 3 克的紙黏土
- (2) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒, 紀錄變化
- (3) 各種模式跑 5 次, 求平均值

項 目 \ 變 因	沒紙黏土的	最上端	中間	最底端

移動距(cm)(四捨五入取至整數)	86、86、87、 87、87	89、88、89、 88、89	81、82、 81、81、 82	80、81、80、 80、80
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	87	89	81	80
分析	1. 加上黏土的位置以放在最上端最好 2. 比沒黏紙黏土的好，表示筆芯的重量會影響到車速的快慢 3. 這因是與筆芯的重心較上面，造成的震動較大有關 4. 黏加上去的黏土重量，不能太重，會造成刷刷車側翻			

9、 筆芯的折曲角度：

- (1) 將刷刷車 2 號的筆芯由上往下折 5 公分
- (2) 利用膠帶將之黏成折角與鉛直線夾角呈(ㄅ)0 度(ㄆ)45 度(ㄇ)90 度(ㄏ)135 度
- (3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒，紀錄變化
- (4) 各種模式跑 5 次，求平均值

項 目 \ 變 因	0 度	45 度	90 度	135 度
移動距(cm)(四捨五入取至整數)	82、82、82、 82、82	86、86、85、 86、86	81、81、81、 80、81	87、86、86、 86、86
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	80	86	81	86
分析	1. 以 135 度最好，不過與 45 差不多 2. 90 度最不好 3. 從數據中並沒能找出趨勢 4. 此實驗的操作不容易，尤其在筆的彎曲角度控制方面不容易，所以實驗的結果並不是很精準			

10、馬達擺放的位置：

- (1) 將刷刷車 2 號的馬達改變位置呈以下幾個位置點
 (ㄅ)中心點(ㄆ)中心點偏右 1 公分(ㄇ)中心點偏左 1 公分(ㄏ)
 中心點前移 2 公分
- (2) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒，紀錄變化
- (3) 各種模式跑 5 次，求平均值

變因 項目	中心點	中心點偏 右 1 公分	中心點偏 左 1 公分	前移 2 公 分
移動距(cm)(四 捨五入取至整數)	86、87、87、 87、87	90、91、91、 90、91	89、89、89、 90、89	85、86、 86、85、 86
平均值(cm)(四 捨五入取至整數)	87	91	89	86
分析	1. 由上得知以中心點偏右最好，不過與中心 點偏左差不多 2. 中心點與前端的速度差別不大 3. 所以馬達的位置會影響車速，且以有點偏 離中心點的左、右位置較佳			

11、毛刷每撮毛的數量：

- (1) 為不影響方向，所以每撮毛的數量先從中心位置剪除，盡量保留
 外圍
- (2) 將刷刷車 2 號的每撮刷毛剪成 (ㄅ) 70 根 (ㄆ) 60 根(ㄇ)50 根
 (ㄏ)40 根
- (3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒，紀錄變化
- (4) 各種模式跑 5 次，求平均值

變因 項目	70 根	60 根	50 根	40 根
移動距(cm)(四 捨五入取至整數)	86、87、86、 87、87	86、86、86、 86、86	90、89、 90、90、	86、85、86、 86、86

			89	
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	87	86	90	86
分析	1. 根據實驗結果以 50 根的速度最好 2. 其餘的大致相同 3. 可能較好產生振動，不過也要產生有效的振動，所以 50 根速度較好，但 40 根又沒有差別，可能是 40 根的反作用力較小的緣故			

12、毛刷的重量：

- (1) 將等重的紙粘土，分別黏在 2 號刷刷車的四個角落
- (2) 讓其增加重量如下 (勺) 0 克 (夕) 10 克 (冂) 20 克 (匚) 30 克 (勹) 60 克
- (3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒，紀錄變化
- (4) 各種模式跑 5 次，求平均值

項 目 \ 變 因	0 克	10 克	20 克	30 克	60 克
移動距(cm)(四捨五入取至整數)	86、85、 85、86、 86	86、85、 85、86、 86	85、85、 85、85、 84	84、84、 84、84、 84	80、81、 80、80、 80
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	86	86	85	84	80
分析	1. 在少量的增加重量時，對於刷刷車的車速影響不大 2. 不過在增加到 60 克時，會發現速度變慢 3. 可見增加重量對於刷刷車的速度的影響不大，除非增加的重量較大，對速度才有影響，而且是減速的影響 4. 在實驗的過程中，發現平均分配重量在四個角落，似乎影響不大。但是若改變重量的位置會如何呢？				

--	--

13、毛刷的重心位置：

- (1) 將 2 號刷刷車的三個角落分別黏上 3 顆 5 克的紙粘土
- (2) 保留 (丿) 左前 (夕) 左後 (冂) 右前 (匚) 右後，不要黏紙粘土來改變其重心位置
- (3) 將刷刷車放於平整的白紙上，啟動 30 秒，紀錄變化
- (4) 各種模式跑 5 次，求平均值

項 目 \ 變 因	左前	左後	右前	右後
移動距(cm)(四捨五入取至整數)	89、89、88、 89、89	88、87、86、 87、87	89、90、 90、90、 90	87、87、87、 87、87
平均值(cm)(四捨五入取至整數)	89	87	90	87
分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以左前與右前效果較好 2. 左後與右後的影響不大 3. 可以得到，影響車速的因素重心比重量來得大，而且是讓車速變快 4. 不過這只是限於重量在 15 克的情形下，如果所加的重量較大時，就不得而知了。 5. 我們只能做重心位置的改變比較，至於改變到哪個位置較好，我們還沒有好的方法來實驗 6. 本實驗的目的是要瞭解重心的偏移對於速度的影響，並不是要找到最好的偏離位置，所以以此最簡便的方式來做實驗 			

(三) 實驗討論：

- 1、由上面實驗我們確定會影響車速的因素有筆芯長短、筆芯彎折的長短、筆芯加重的位置、馬達擺放的位置、毛刷每撮毛的數量和毛刷的重心

位置等等。至於是否還有其他變因，受制於器材，我們就難於顧及。

- 2、關於筆芯彎折角度對車速的影響，雖然在研究上有些收穫，不過由於角度的控制不是很精確，因此不做肯定的結論
- 3、對於刷刷車的重量這個因素的影響，我們認為在增加的量不大時，影響車速快慢不大。而在同樣的增加小量的重量時，改變重心確能造成較大的效果，可見重量不是改變車速的因素，重心才是影響主因。
- 4、車速的實驗，地面的平整很重要，所以要將白壁報紙鋪好，另距離的量測，只量起點與終點的直線距離。

四、底板材質與傾斜度會影響刷刷車的速度嗎？

(一) 實驗說明：我們想要瞭解還有什麼因素會影響到刷刷車的前進速度，再來我們想到是否是底板的材質？所以我們收集不同材質的底板來做做看

(二) 實驗步驟：

14、不同材質的底板：

- (1) 將 2 號刷刷車分別於下面材質的底板，進行測速
- (2) (ㄅ) 三合板 (ㄆ) 壓克力板 (ㄇ) 厚紙板 (ㄏ) 鐵板 (ㄏ) 磁磚 (ㄏ) 沙地
- (3) 啟動 30 秒, 紀錄變化
- (4) 各種模式跑 5 次, 求平均值

變因 項目	三合板	壓克力板	瓦楞板	鐵板	磁磚	沙地
移動距 (cm)(四捨五入 取至整數)	85、84、 85、85、 84	80、79、 80、80、 80	89、88、 88、87、 88	80、80、 80、81、 80	76、77、 76、77、 76	7、8、5、 3、8
平均值 (cm)(四捨五入 取至整數)	85	80	88	80	76	6
分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗結果以三合板與瓦楞板較好 2. 而磁磚與壓克力的效果不好 3. 沙地是最不好的，而且因為沙地的地質差異性大，測得的結果相差很多。 4. 從各種材質的表面粗糙程度來看可以得到，表面越光滑，速度越慢 					

	5. 而沙地因為沙子的鬆軟，容易鬆動，無法給予固定的支點，使得震動產生的的作用力，無法得到有力的反作用力，因而難以推動刷刷車。
--	---

15、底板的傾斜角度：

- (1) 將刷刷車分別放在以下的的斜坡上進行測速
- (2) 100 公分瓦楞板以磚塊在一邊墊高，讓另一邊與地板的夾角成
(ㄅ) 5 度 (ㄆ) 15 度 (ㄇ) 25 度 (ㄏ) 35 度
- (3) 啟動 30 秒, 紀錄變化
- (4) 各種模式跑 5 次, 求平均值

變 因 項 目	5	10	25	35
移動距(cm)(四捨 五入取至整數)	4、5、4、4、 4	4、3、3、3、 3	0、0、0、0、0	0、0、0、0、 0
平均值(cm)(四捨 五入取至整數)	4	3	0	0
分析	1. 實驗的結果以 5 度的最好，10 度就降下來了，之後的測驗角度就無法移動了。 2. 所以刷刷車的爬升效果並不好，可見刷刷車受到地形的高低起伏影響很大。 3. 由於刷毛的因素，實驗時的起點不能從平面爬升至斜面，因為有瓦楞板的厚度所造成的檻，刷毛是無法跨越的，所以實驗時是直接擺上斜坡，開始測試的。			

(三) 實驗討論：

- 1、由上面的實驗中得知刷刷車的速度與場地得光滑程度有關，越光滑速度越不好
- 2、另外對於會鬆動的沙地，更是讓車速降得更低，可見刷刷車對地形的要求敏感度很高。
- 3、而對於斜坡的傾斜角度，刷刷車的動力只能到達 10 度，斜面對於刷刷車的速度而言，確實是很大的阻礙。

肆、研究結果：

根據本研究的測試我們得到以下的結果：

- 一、筆芯的轉動方向並不是影響移動路徑方向的主因，所以電池與馬達接線時，不用刻意接成順時或逆時針轉動。
- 二、刷毛的形狀會造成移動路徑的不同，但要找到符合我們需要的向前直行的那一種形狀來，並不容易。
- 三、利用刷毛的長短來造成與地面的接觸呈現傾斜的狀態，幫助我們發現，移動會往毛短的方向，顯然高低差能控制它的方向。
- 四、為了好控制方向，我們將刷毛剪成兩腳、三腳、四腳的方式以減低刷毛高低參差不齊造成位移偏向的問題，結果效果不錯。
- 五、配合上述接觸的不同腳的方式與左右高低差的實驗，我們做出能符合我們需求往前行的刷刷車。
- 六、從筆芯長短對速度的影響實驗中，我們發現筆芯越長越好，不過到達9公分之後，影響的效果就沒那麼明顯了。
- 七、筆芯彎折的長短對速度的影響，就我們的實驗，越短越好，但沒有折的反而不好。
- 八、在筆芯加重量比沒加重量對速度的影響來得好，而且以加在越上端越好
- 九、筆芯的彎曲角度，就我們的實驗越小越好，不過有彎曲比沒彎曲好。
- 十、馬達的擺放位置也會影響速度，以放在中心點偏左或偏右1公分較好。
- 十一、增加毛刷的重量對速度的影響不大，反而是改變重心對速度的影響較大。
- 十二、底板的材質也會影響速度，與材質的粗糙程度有關，越粗糙越好。
- 十三、本實驗的刷刷車的爬坡角度極限到10度，再高就無法移動了。

伍、討論：

一、如何控制刷刷車的移動方向？

- (一) 實驗我們發現，刷刷車的走向是以(1)刷毛的長短造成的高低差和(2)地面的平整程度有關，與刷毛的形狀還有筆芯的轉向無關。
- (二) 我們推測是因為筆芯的振動，造成刷毛的形變，而產生的反作用力讓刷刷車前進。
- (三) 關於刷毛的形狀，我們僅就數學學過的圖形來做研究，是否有其他的圖形可控制它的走向，不得而知。不過我們的目的是要來做競速用，所以希望刷刷車盡量能跑直線，因此最符合我們的需求的修整方式就是高低差。平面的幾何圖形變化很難控制直線前行。
- (四) 實驗中我們發現刷毛的平整切齊很重要，因此要使用要銳利的剪刀，避免有沒切齊造成的影響。
- (五) 毛刷的接觸面改成模仿車子的方式，確實是讓我們找到控制方向的好方法，因為這樣讓我們較容易處理刷毛，避免刷毛過多讓影響方向

的變數更難掌控。

二、影響刷刷車行走快慢的因素？

- (一) 筆芯長短的實驗會影響車速的快慢，而且是越長越好，不過因為我們找到的最長筆芯是 14 公分，所以最長就用到此長度。不過我們發現從 9 公分起到 14 公分的長度所造成的車速都差不多。
- (二) 筆芯彎折長短，造成的效果以彎折較短的效果較好。不過在實驗中要將筆芯彎折成 90 度角，當彎折長度越長，轉動起來會有角度上的誤差，這點還須想辦法改善。
- (三) 筆芯加重位置的實驗，我們只使用 3 克的紙黏土原因，是因為太重的紙黏土會造成重心的不穩，使的車子有側翻的疑慮。
- (四) 筆芯折曲角度的實驗，同樣是操作不易，因為用膠帶黏住我們所需的角度的後，旋轉時便會跑掉，所以需要改進，最好能使用較剛性的材質如鐵絲來做實驗會更好，而不要使用塑膠筆芯。
- (五) 馬達擺放位置的實驗因受制於刷子的尺寸關係，所以就以刷子的中心點作為基準點，偏移中心點的幾個點來做比較。不過實驗後還能得出不錯結果。
- (六) 毛刷每撮毛的數量實驗，會做此實驗是因為實驗用的毛刷較粗且每撮的數量多，較不易彎曲，我們想減低它的量，來看看折曲度越好時，是否速度越快。
- (七) 毛刷重心位置的實驗，是想要了解重心改變對車速的影響。至於最好的重心位置點在哪裡，因為不好調控。所以只能做比較好的位置點，而不能做到最好的位置點。
- (八) 依據上述的幾個實驗，我們認為車速應與振動的頻率有關，頻率越高行走越快，不過也與有效振動有關，有些因素造成振動頻率高，但是振動的力量小，屬於無效振動，並不會讓刷刷車速度變快。

三、競技場的影響？

- (一) 不同底板材質的實驗，發現這幾種材質的表面越粗糙的車速越快，而最不好的沙地，讓車速降低很多，有時還會有卡住的現象。
- (二) 底板的傾斜角度實驗，讓我們發現刷刷車的振動力量在高度的爬升方面效果非常差。這與車輪的滾動不同，刷毛是前後振動，沒有離地跨越的動作，而車輪的滾動則會有輾過跨越動作。
- (三) 以上的實驗結果，應是刷毛形變產生的反作用力，在光滑的平面和沙地上較沒支點，使得反作用力變小的緣故。

陸、結論：

綜合以上，為求刷刷車跑得快應從三個方向來改進：

- 一、競技場方面：競技場應以粗糙的材質做底板，而且要越平整越好，避

免有高低差，造成刷刷車往歪斜的方向前行。

二、刷子方面：可以加些紙黏土。讓車子的重心，有點偏離中心點，讓筆芯的旋轉造成的振動效果更好點，還有每撮毛的數量大約減成 50 根左右，也會讓車速變快。

三、筆芯方面：可讓筆芯長一點較好，最好將筆芯彎折 2 公分下來，上端再加點紙黏土以增加擺動的力量。

柒、後續研究建議

本研究的影響因素很多，除了有振動頻率、反作用力、能量的傳遞、
、
、
等等，不一而足，本研究的結論只是我們研究的暫時成果。建議有興趣之研究者，可再從其他變因：諸如刷毛材質（例如鋼刷，鬃毛刷）、電池的數量、串聯並聯、場地打蠟增加光滑度等等的影響因素著手，讓這方面的研究更加完善。

捌、研究限制

由於各家廠牌的刷子的材質與結構相差很多，因此實驗的結果僅限於此次的探討研究，不宜做過多的推論。

玖、參考資料及其他

科學研習 No.52-3 MAR 2013

關鍵字： 振動、反作用力

