

# 新竹市第四十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：動磁!動磁!磁浮列車向前行~

關 鍵 詞:電池、磁浮列車、安培右手定則

編 號：

# 目錄

壹、研究動機.....	1
貳、研究目的.....	1
參、研究設備及器材.....	2
肆、研究過程或方法.....	3
一、研究流程.....	3
二、實驗原理.....	4
三、實驗準備過程.....	4
四、實驗步驟.....	5
伍、研究結果.....	12
一、不同材質的線圈對磁浮列車速度的影響.....	12
二、不同長度線圈對磁浮列車速度的影響.....	14
三、相同磁鐵數量、擺放位置不同對磁浮列車速度的影響.....	15
四、不同電池性質對磁浮列車速度的影響.....	17
五、鐵片的擺放位置不同對磁浮列車速度的影響.....	19
六、不同載重量對磁浮列車速度的影響.....	21
七、線圈擺放形狀對磁浮列車速度的影響.....	22
八、線圈擺放角度對磁浮列車速度的影響.....	24
九、結合不同材質線圈對磁浮列車速度的影響.....	26
陸、討論.....	28
一、線圈纏繞方向與電池正負極和磁鐵磁極擺放關係.....	28
二、銅線線圈與鋁線線圈長度增加時對磁浮列車速度的影響.....	29
柒、結論.....	29
捌、參考文獻資料.....	30

# 動磁!動磁!磁浮列車向前行~

## 摘要

磁浮列車是一種靠電與磁交互運動產生動力的實驗，藉由改變線圈的材質、線圈的長度、磁鐵擺放位置、電池的種類、鐵片擺放位置、載重、軌道形狀、軌道角度及不同線圈組合分別進行實驗討論。藉由量測磁浮列車通過線圈的時間，探討各項變因對磁浮列車速度的影響，讓我們能找出使磁浮列車行駛最快速的組合。根據實驗結果，我們建議最佳磁浮列車的組合為：磁浮列車車身使用充電電池，線圈則選擇銅線線圈，並於磁浮列車電池正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵。

## 壹、研究動機

我們在自然課本的內容學到許多關於電與磁鐵的知識，但我們想要更了解這個概念，所以我們上網查了一下，發現磁浮列車這個主題有很多可以探討的地方，希望我們能找出最棒的磁浮列車組合。磁浮列車最吸引我們的是它空中飄浮的樣子，沒想到列車這麼重的東西，竟然是利用我們學過「同極相斥、異極相吸」的原理，就可以讓它飄浮在軌道上，真的很神奇！人真的好厲害，從一個這麼小的東西與簡單得概念，就發明出可以如此便利、快速又能節省時間的磁浮列車。

## 貳、研究目的

- 一、不同材質的線圈對磁浮列車速度的影響
- 二、不同長度的線圈對磁浮列車速度的影響
- 三、相同磁鐵數量、擺放位置不同對磁浮列車速度的影響
- 四、不同電池性質對磁浮列車速度的影響
- 五、鐵片的擺放位置對磁浮列車速度的影響
- 六、不同載重量對磁浮列車速度的影響
- 七、線圈擺放形狀對磁浮列車速度的影響
- 八、線圈擺放角度對磁浮列車速度的影響
- 九、結合不同材質線圈對磁浮列車速度的影響

## 參、研究設備及器材

表一 實驗器材

編號	項目	編號	項目	編號	項目
1	線徑 1mm 銅線	12	直徑 1.5cm 長 30cm 南瓜棒	23	膠帶
2	線徑 1mm 鋁線	13	直徑 1.5cm 長 60cm 鐵棒	24	雙面膠
3	線徑 1mm 鐵線	14	0.5cm 厚強力磁鐵	25	瓦楞板
4	線徑 1mm 白鐵線	15	鐵片	26	棉線
5	線徑 1mm 漆包線	16	3D 列印轉接頭	27	奇異筆
6	充電電池 (4 號)	17	電動馬達	28	量角器
7	鈦電池 (4 號)	18	捲線器底座	29	手機
8	碳鋅電池 (4 號)	19	電鑽	30	平板
9	鹼性電池 (4 號)	20	老虎鉗	31	腳架
10	錳乾電池 (4 號)	21	手套		
11	塑膠軌道	22	尺		

# 肆、研究過程或方法

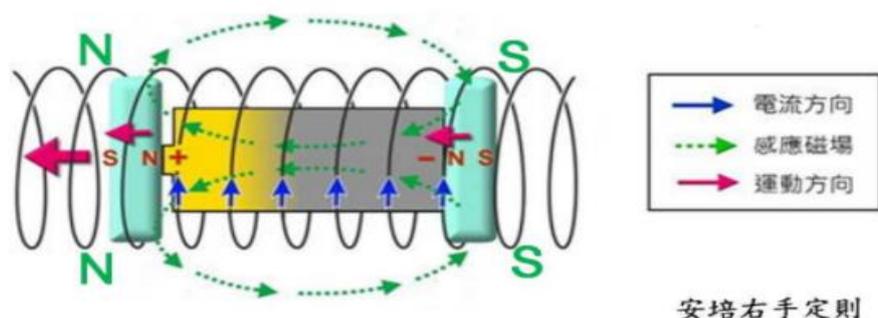
## 一、研究流程



圖一 研究流程

## 二、實驗原理

磁浮列車是利用磁極的「同極相斥、異極相吸」的原理讓列車移動，在電池的兩端接上強力磁鐵，當電池釋放的電流經由強力磁鐵與線圈接觸時，根據安培右手定則我們知道會有感應磁場，當感應磁場與電池負極端的強力磁鐵的極性相同時，同極相斥，進而推動磁浮列車；在電池正極端的強力磁鐵則與感應磁場極性相反，造成異極相吸，進而拉動磁浮列車，利用這一推一拉的作用使列車前進。



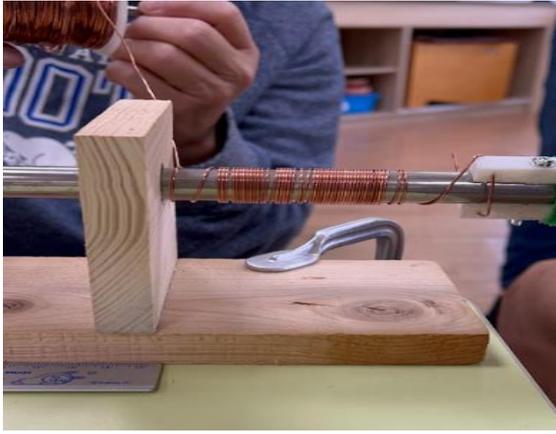
圖二 安培右手定則

資料來源：簡易電聯車 - NTCU 科學遊戲實驗室

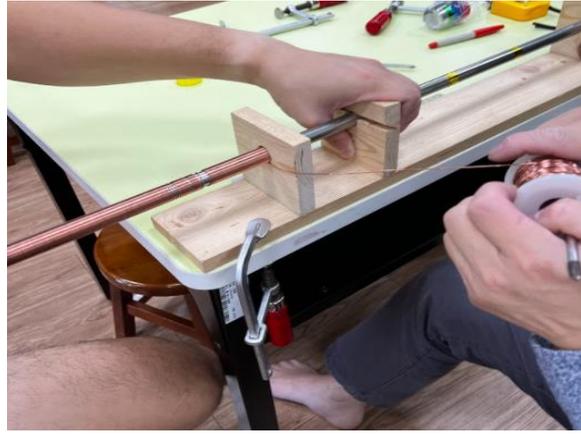
## 三、實驗準備過程

我們參考網路上磁浮列車的製作方式後開始著手了第一次的試驗，我們用南瓜燈籠的木棒來繞線圈，在過程中發現很難固定線材，它的材質對我們來說太硬了，無法憑自己的力氣把線圈繞的工整，完成後試跑時根本不會動，後來才發現原來我們買成漆包線，外面的塗層無法導電，想當然讓我們的實驗起頭就遇到了困難，宣告失敗。後來再去買了銅線、鋁線、鐵線和白鐵線，再次嘗試將材料纏繞在南瓜燈籠的木棒上，結果發現鋁線太軟，很容易變形；銅線則太硬，無法靠自己的力氣進行纏繞，所以我們最後向大人們求救，大家一起討論腦力激盪後，決定利用學校的 3D 列表機印出電動纏繞線圈的捲線機具，再搭配木板、鐵管和電鑽完成自動捲線器（如下圖三、四）。過程中我們嘗試靠自己完成這件事，但因為力氣真的不夠、握不穩，所以最後銅線的部分還是由師長協助完成。

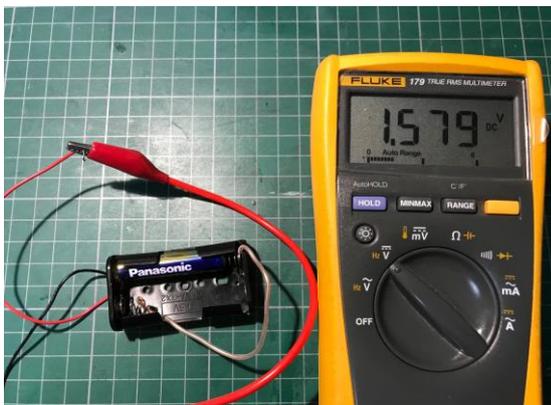
線圈完成後終於可以進行第一次的試驗，我們的磁浮列車真的成功動起來了！接著就開始準備完成其它我們想進行的實驗，並準備了三用電錶於實驗前量測（如圖五），為的是確定起始電壓是否足夠產生感應電流，進而推動磁浮列車前進。



圖三 利用自製捲線器固定線圈



圖四 利用自製捲線器繞線圈



圖五 用三用電錶量測電壓

#### 四、實驗步驟

##### (一) 實驗一、不同材質的線圈對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分長的銅線線圈、鋁線線圈、鐵線線圈、白鐵線線圈及漆包線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合磁浮列車，並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖六 45 公分銅線線圈軌道與磁浮列車

## (二) 實驗二、不同長度的線圈對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分、90 公分長的銅線線圈及鋁線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合磁浮列車，並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖七 90 公分鋁線線圈軌道

## (三) 實驗三、相同磁鐵數量、擺放位置不同對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分長的銅線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個，充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合四種不同磁鐵擺放方式的磁浮列車（正極連接四個強力磁鐵，負極連接一個強力磁鐵；正極連接三個強力磁鐵，負極連接兩個強力磁鐵；正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵；正極連接一個強力磁鐵，負極連接四個強力磁鐵），並架設平板進行攝影。

3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。

4. 重複步驟 3 十次。



圖八 磁鐵位置擺放不同的磁浮列車

#### (四) 實驗四、不同電池性質對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分長的銅線線圈，充電電池、鈦元素電池、碳鋅電池、鹼性電池、錳乾電池，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），塑膠軌道一座。

2. 組合五種不同電池的磁浮列車（充電電池、鈦電池、碳鋅電池、鹼性電池、錳乾電池），並架設平板進行攝影。

3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。

4. 重複步驟 3 十次。



圖九 不同性質的電池

(五) 實驗五、鐵片的擺放位置對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分長的銅線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），鐵片 3 片，充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合四種不同磁浮列車（中間各一片、頭兩片尾一片、頭中間一尾二、尾三），並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖十 鐵片放不同位置的磁浮列車

#### (六) 實驗六、不同載重量對磁浮列車速度的影響

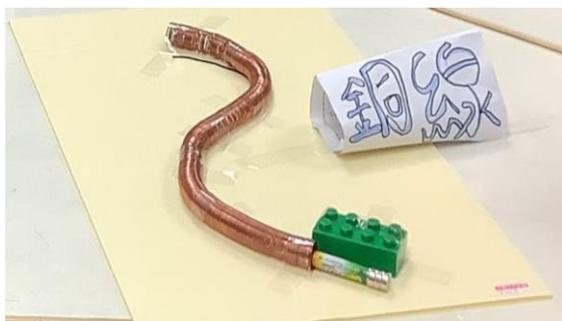
1. 準備 45 公分長的銅線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），鐵片 20 片，充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合磁浮列車（無負重、34.5 克、37.8 克和 41.8 克），並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖十一 載重的磁浮列車

#### (七) 實驗七、線圈擺放形狀對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分長的銅線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），塑膠瓦楞版，45 公分長的棉線，奇異筆一枝，充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合磁浮列車，用 45 公分棉線固定在瓦楞板上後畫出軌道形狀（S 型、弧形），銅線線圈依照軌道擺放，再用膠帶固定，並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖十二 S 型的軌道



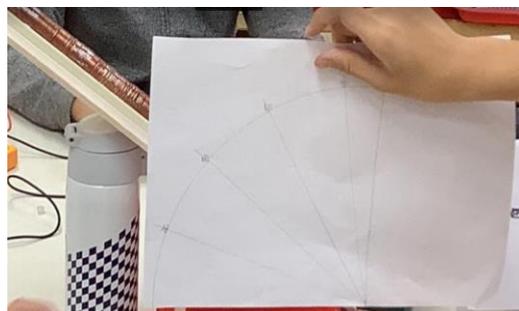
圖十三 弧形的軌道

#### (八) 實驗八、線圈擺放角度對磁浮列車速度的影響

1. 準備 45 公分長的銅線線圈，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），量角器一個，充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合磁浮列車，用量角器測量軌道座角度（20 度、40 度）後固定軌道，並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自下端放入後，待完全自上端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖十四 20 度的軌道



圖十五 40 度的軌道

#### (九) 實驗九、結合不同材質線圈對磁浮列車速度的影響

1. 準備 15 公分、30 公分、45 公分長的銅線線圈及鋁線，0.5 公分厚的強力磁鐵 5 個（正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵），充電電池一顆，塑膠軌道一座。
2. 組合磁浮列車，組合不同材質線圈（銅線 30 公分鋁線 15 公分、銅線 15 公分鋁線 30 公分、銅線 15 公分鋁線 15 公分銅線 15 公分、鋁線 30 公分銅線 15 公分、鋁線 15 公分銅線 30 公分、鋁線 15 公分銅線 15 公分鋁線 15 公分），並架設平板進行攝影。
3. 將磁浮列車自一端放入後，待完全自另一端跑出後，先量電壓，再透過影片紀錄所需時間。
4. 重複步驟 3 十次。



圖十六 銅線 30 公分鋁線 15 公分



圖十七 銅線 15 公分鋁線 30 公分



圖十八 銅線 15 公分鋁線 15 公分銅線 15 公分



圖十九 鋁線 15 公分銅線 15 公分鋁線 15 公分

## 伍、研究結果

### 一、不同材質的線圈對磁浮列車速度的影響

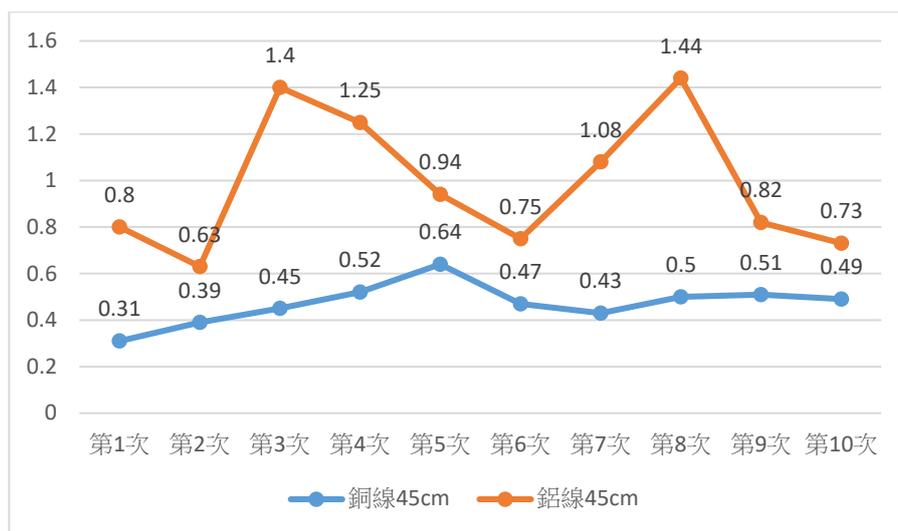
我們想要了解，不同材質的線圈會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表二，再根據表二結果繪製成圖二十。

表二 磁浮列車經過不同材質線圈內所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
銅線 45cm	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
鋁線 45cm	0.80	0.63	1.40	1.25	0.94	0.75	1.08	1.44	0.82	0.73	0.98
鐵線 45cm	磁浮列車無法前進，磁鐵直接吸在鐵線上。										
白鐵線 45cm	磁浮列車無法前進。										
漆包線 45cm	磁浮列車無法前進。										

表三 鐵線與白鐵線的電阻

	電阻(歐姆)
鐵線 45cm	1.2
白鐵線 45cm	5.1



圖二十 磁浮列車通過銅線線圈與鋁線線圈所需時間

我們知道金屬的導電效能由電阻的大小決定，在常溫下導電性為銀>銅>金>鋁，根據表二我們可以發現，磁浮列車經過銅線所需的時間比經過鋁線所需的時間短，磁浮列車在導電性較好的銅線內跑比較快，而在導電性較差的鋁線內跑比較慢。鐵線及白鐵線也可以導電，但是磁浮列車在鐵線中卻無法前進，我們發現因為磁鐵會吸住鐵製品，導致磁浮列車無法通過前行，直接吸在線圈上。根據表三可以得知白鐵線的電阻為 5.1 歐姆，白鐵線電阻太大，導致磁浮列車無法前進。磁浮列車無法於漆包線內前進，是因為漆包線外面的漆是絕緣體，絕緣體不導電，所以磁浮列車無法產生電流給予動力前進。實驗結果發現只有銅線線圈和鋁線線圈能讓磁浮列車前進。

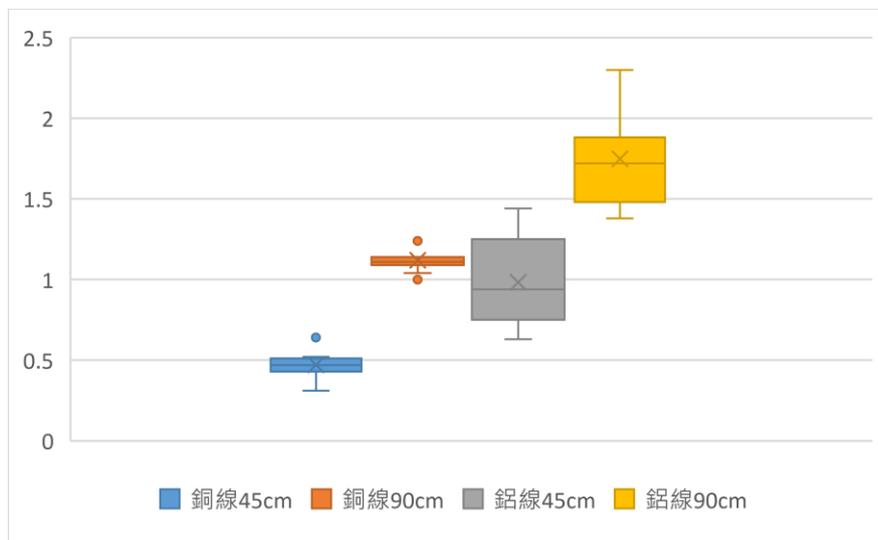
依據實驗結果，因為我們想找出能讓磁浮列車跑得速度最快的組合，因此後續實驗線圈皆選擇銅線線圈。

## 二、不同長度線圈對磁浮列車速度的影響

我們想要了解，當線圈長度增加時會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表四，再根據表三結果繪製成圖二十一。

表四 磁浮列車經過不同材質線圈內所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
銅線 45cm	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
銅線 90 cm	1.12	1.04	1.10	1.09	1.27	1.09	1.00	1.14	1.24	1.11	1.12
鋁線 45 cm	0.80	0.63	1.40	1.25	0.94	0.75	1.08	1.44	0.82	0.73	0.98
鋁線 90 cm	1.45	1.38	1.50	1.48	1.72	1.79	1.72	2.30	2.25	1.88	1.75



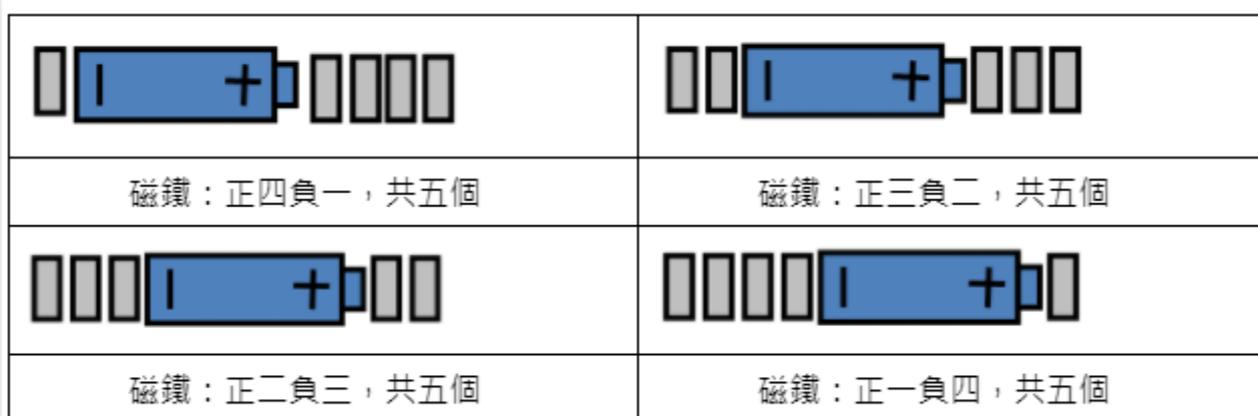
圖二十一 磁浮列車通過不同長度線圈所需時間

根據實驗一結果我們已經知道磁浮列車在銅線裡跑得比在鋁線裡跑還要快，所以可以推論磁浮列車在增加長度至 90 分的銅線線圈中，也會跑得比 90 公分的鋁線線圈還要快，根據表四可以證實我們的推論是正確的。

但我們發現磁浮列車經過 90 公分的銅線線圈內所需時間是 45 公分時的 2.38 倍；磁浮列車經過 90 公分的鋁線線圈內所需時間則是 45 公分時的 1.78 倍。當線圈長度變長時，相較之下鋁線線圈所需的時間反而減少了，如果長度增加與時間增加的比率固定的話，是不是增加到一定的長度後，磁浮列車在鋁線線圈內所需時間可以跟銅線線圈一樣呢？甚至所需時間會更短？

### 三、相同磁鐵數量、擺放位置不同對磁浮列車速度的影響

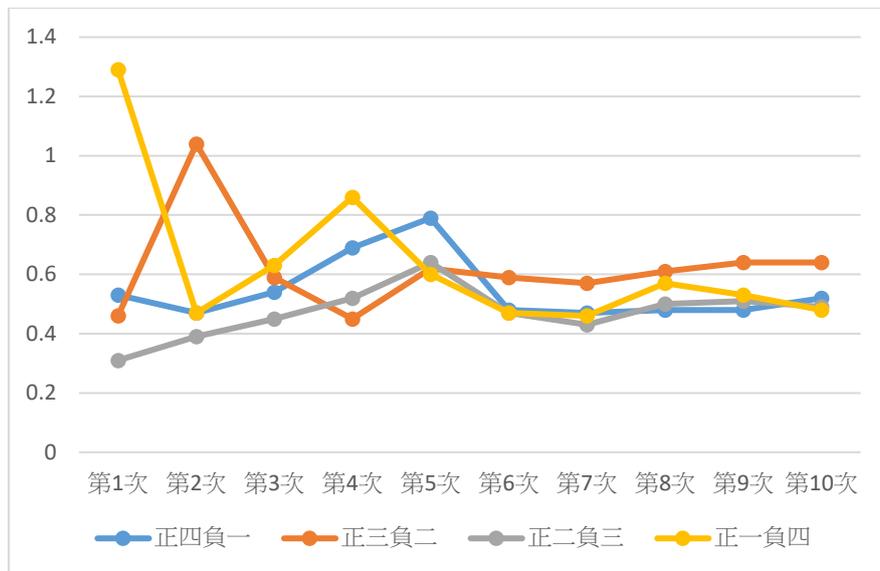
我們想要了解，磁鐵擺放位置不同時(如圖二十二)，會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表五，再根據表七結果繪製成圖二十三、圖二十四。



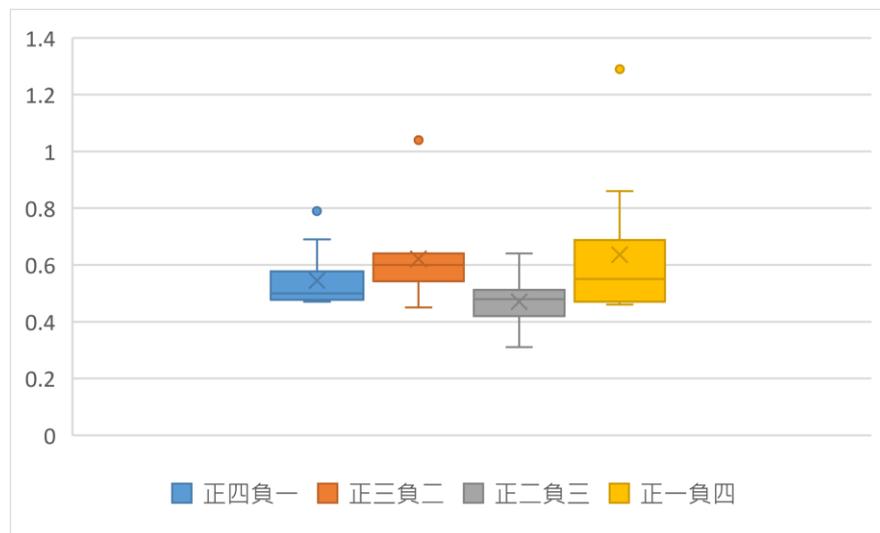
圖二十二 磁鐵擺放方式

表五 磁浮列車磁鐵擺放位置不同時所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
正四負一	0.53	0.47	0.54	0.69	0.79	0.48	0.47	0.48	0.48	0.52	0.55
正三負二	0.46	1.04	0.59	0.45	0.62	0.59	0.57	0.61	0.64	0.64	0.62
正二負三	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
正一負四	1.29	0.47	0.63	0.86	0.60	0.47	0.46	0.57	0.53	0.48	0.64



圖二十三 不同磁鐵擺放位置的磁浮列車通過線圈所需時間



圖二十四 磁鐵擺放位置不同時，磁浮列車通過線圈所需時間

根據表五可以得知，磁浮列車的磁鐵擺放位置不同會影響其速度，最快的是正極兩個強力磁鐵、負極三個強力磁鐵；第二快的是正極四個強力磁鐵、負極一個強力磁鐵；第三快的是正極三個強力磁鐵、負極兩個強力磁鐵；最慢的則是正極一個強力磁鐵、負極四個強力磁鐵。在實驗過程中我們發現第二快的磁浮列車（正四負一）失敗率也較高，可能是因為前面的磁力太強又較重，磁力不平衡導致磁浮列車在線圈中也不平衡，因此常常撞到線圈而卡住。後續的實驗我們皆選擇以第一快的磁浮列車（正二負三）進行實驗。

#### 四、不同電池性質對磁浮列車速度的影響

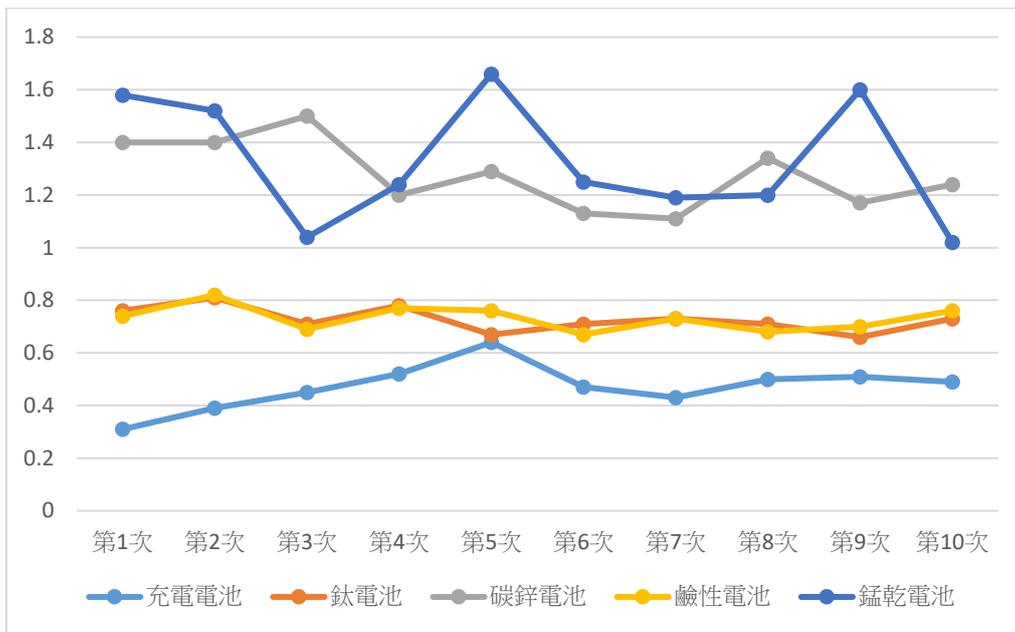
我們想要了解，不同種類的電池會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表六、表七，再根據表七結果繪製成圖二十五、圖二十六。

表六 不同種類的電池重量

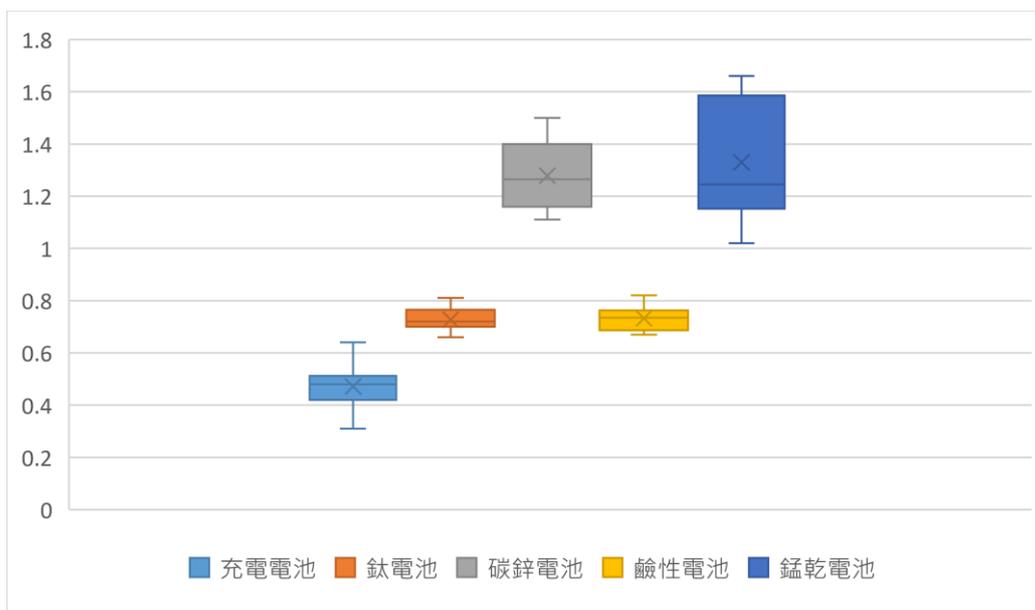
	重量(g)
充電電池	11.7
鈦電池	11.2
碳鋅電池	8.3
鹼性電池	8.7
錳乾電池	11.5

表七 不同電池種類的磁浮列車通過線圈所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
充電電池	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
鈦電池	0.76	0.81	0.71	0.78	0.67	0.71	0.73	0.71	0.66	0.73	0.73
碳鋅電池	1.40	1.40	1.50	1.20	1.29	1.13	1.11	1.34	1.17	1.24	1.28
鹼性電池	0.74	0.82	0.69	0.77	0.76	0.67	0.73	0.68	0.70	0.76	0.73
錳乾電池	1.58	1.52	1.04	1.24	1.66	1.25	1.19	1.20	1.60	1.02	1.33



圖二十五 不同種類電池的磁浮列車通過線圈所需時間



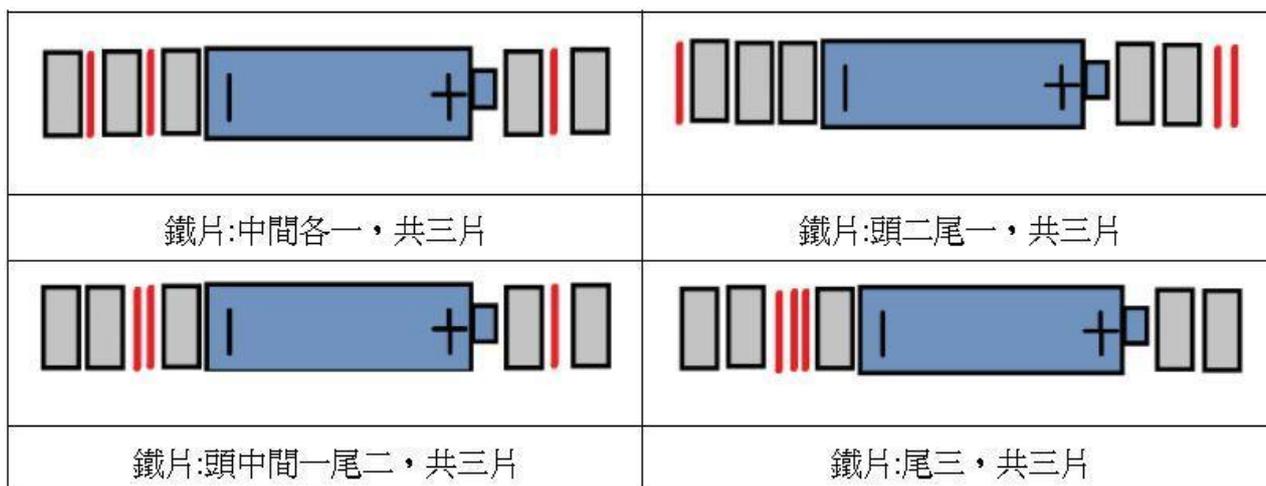
圖二十六 不同種類電池的磁浮列車通過線圈的時間

根據表六可以得知，電池的重量為充電電池>錳乾電池>鈦電池>鹼性電池>碳鋅電池，依據表七可以發現磁浮列車的速度的為充電電池>鈦電池=鹼性電池>碳鋅電池>錳乾電池，而這些電池都是 1.5 伏特。實驗結果發現，電池的重量不影響磁浮列車的速度的，因為電池越重並沒有跑得比較慢，所以可以推測磁浮列車的速度的與電池本身的性質、成分較相關。

因為我們希望找出能讓磁浮列車跑最快的組合，所以我們的實驗皆以充電電池為磁浮列車的車身。

## 五、鐵片的擺放位置不同對磁浮列車速度的影響

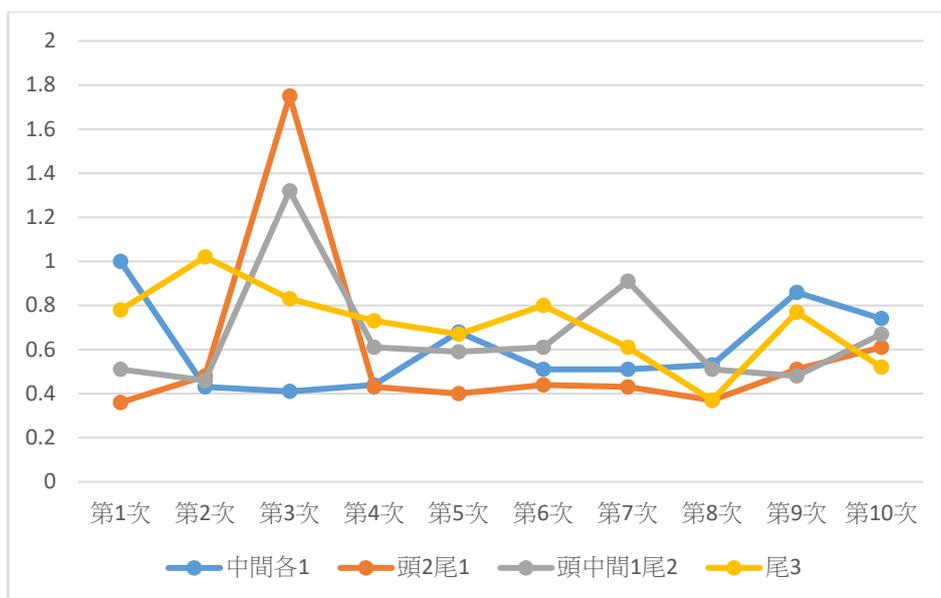
我們三年級時學過，當磁鐵兩側加上鐵片時，可以集中磁力而讓磁力增強，因此我們想要了解，哪一種鐵片擺放位置(如圖二十七)最能增加磁力，使磁浮列車行進的速度變快。將實驗數據整理如下表八，再根據表六結果繪製成圖二十八、圖二十九。



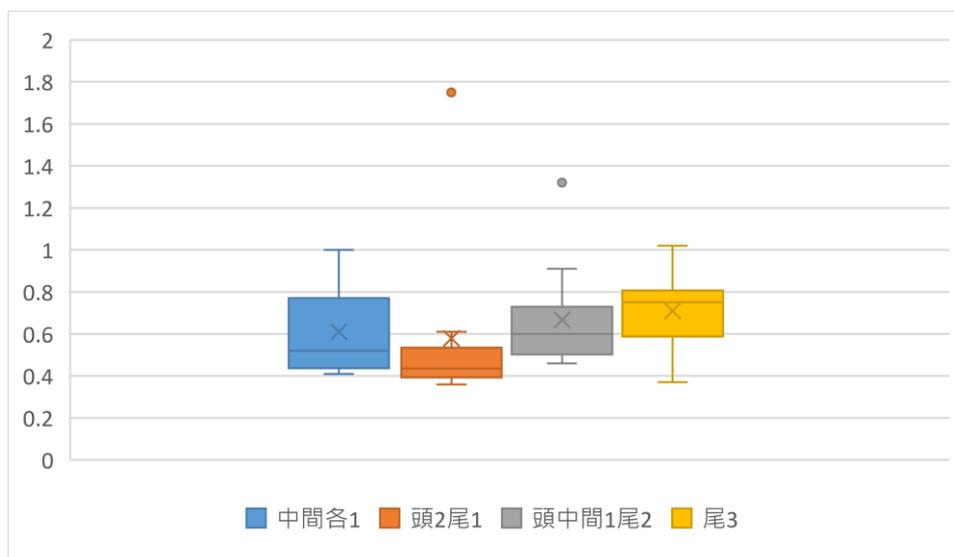
圖二十七 鐵片擺放位置

表八 鐵片擺放位置不同時磁浮列車所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
中間各 1	1.00	0.43	0.41	0.44	0.68	0.51	0.51	0.53	0.86	0.74	0.61
頭 2 尾 1	0.36	0.48	1.75	0.43	0.40	0.44	0.43	0.37	0.51	0.61	0.58
頭中 間 1 尾 2	0.51	0.46	1.32	0.61	0.59	0.61	0.91	0.51	0.48	0.67	0.67
尾 3	0.78	1.02	0.83	0.73	0.67	0.80	0.61	0.37	0.77	0.52	0.71



圖二十八 鐵片擺放位置不同的磁浮列車通過線圈所需時間



圖二十九 鐵片擺放位置不同時，磁浮列車通過線圈所需時間

在做此實驗時，我們遇到發現鐵片位置很容易跑掉，而造成磁浮列車在通過線圈時會卡住，我們嘗試了很多次之後，決定用雙面膠將鐵片與強力磁鐵黏住，固定位置後實驗才能順利進行。

根據表八可以知道，當鐵片擺放位置為頭二尾一的磁浮列車速度最快，鐵片中間共夾了五個強力磁鐵；再來是鐵片擺放位置為中間各一的磁浮列車，鐵片中間共夾了三個強力磁鐵；而鐵片擺放位置為頭中間一尾二的磁浮列車速度排第三，鐵片中間共夾了兩個強力磁鐵。

鐵；最後是鐵片擺放位置為尾三的磁浮列車，鐵片的厚度隔開了磁鐵，反而讓磁力變得更弱，而使磁浮列車的速​​度降低。

因此得知，磁鐵兩側加上鐵片時確實可以增加磁力，但是擺放位置會影響磁力增加的強度，所以要選擇放在磁鐵的兩端，使磁力變得最集中，而讓磁浮列車跑得速度最快；鐵片若只增加在同一面，反而使得磁鐵距離變遠，磁力因此減弱，而使磁浮列車跑得速度最慢。

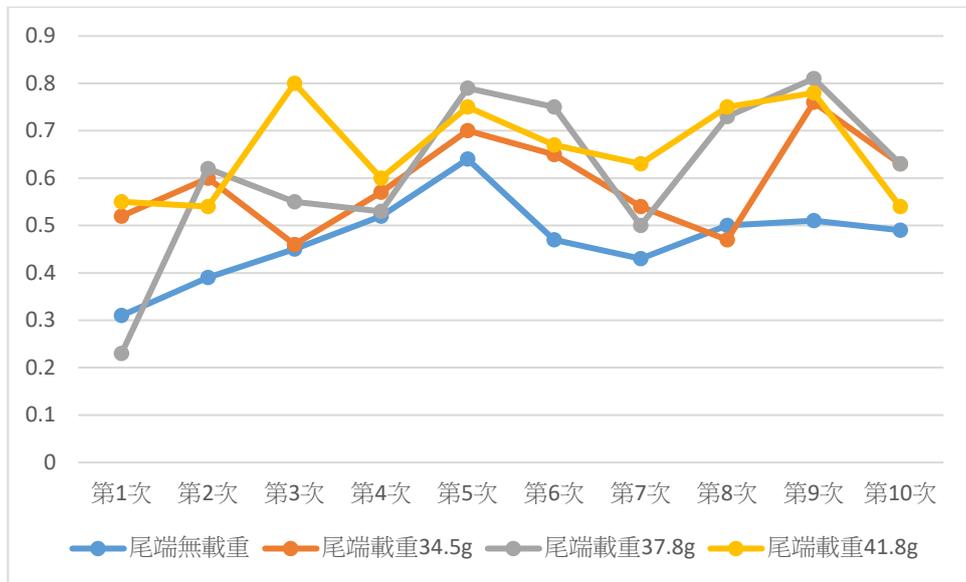
但加入鐵片的同時也增加了重量，因此增加鐵片的磁浮列車仍舊跑得比不加鐵片的磁浮列車慢。

## 六、不同載重量對磁浮列車速度的影響

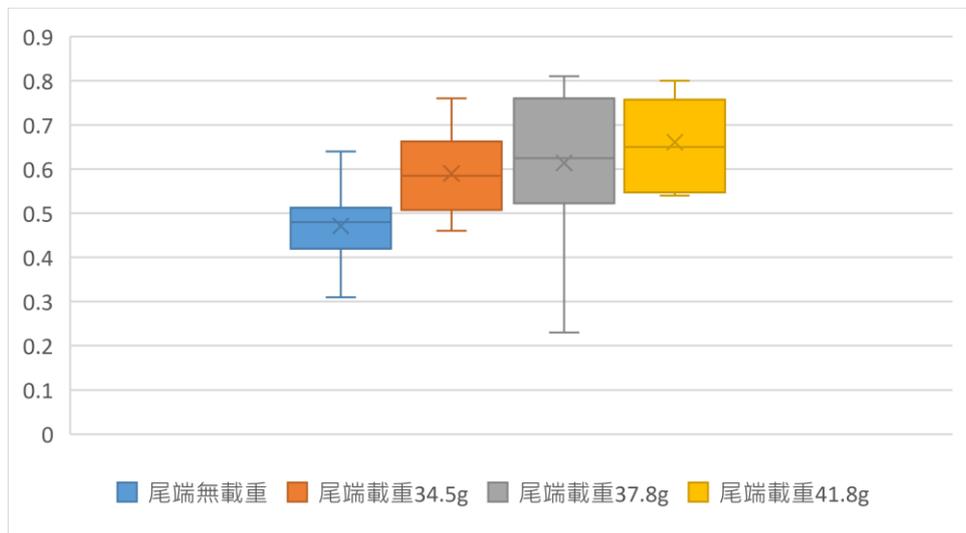
我們想要了解，不同載重量會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表九，再根據表九結果繪製成圖三十、圖三十一。

表九 磁浮列車尾端載重不同時所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
尾端無載重	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
尾端載重 34.5g	0.52	0.60	0.46	0.57	0.70	0.65	0.54	0.47	0.76	0.63	0.59
尾端載重 37.8g	0.23	0.62	0.55	0.53	0.79	0.75	0.50	0.73	0.81	0.63	0.61
尾端載重 41.8g	0.55	0.54	0.80	0.60	0.75	0.67	0.63	0.75	0.78	0.54	0.66



圖三十 磁浮列車尾端載重通過線圈所需時間



圖三十一 磁浮列車尾端載重不同時，通過線圈所需時間

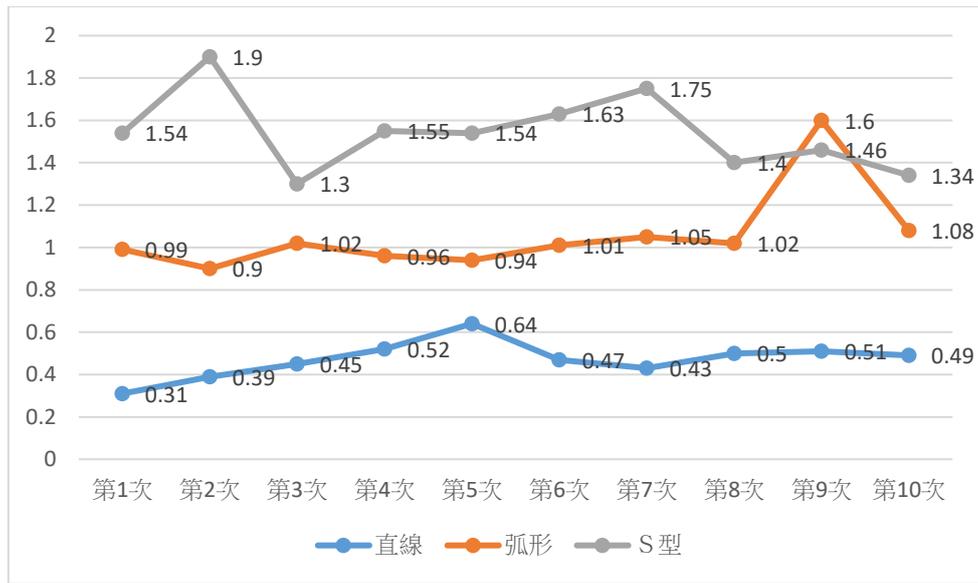
經過實驗我們發現，如果磁浮列車尾端無載重時，跑得比磁浮列車尾端有載重來得快，根據圖三十一我們可以知道，當總重量越重時，速度就越慢；總重量越輕時，速度就越快。

## 七、線圈擺放形狀對磁浮列車速度的影響

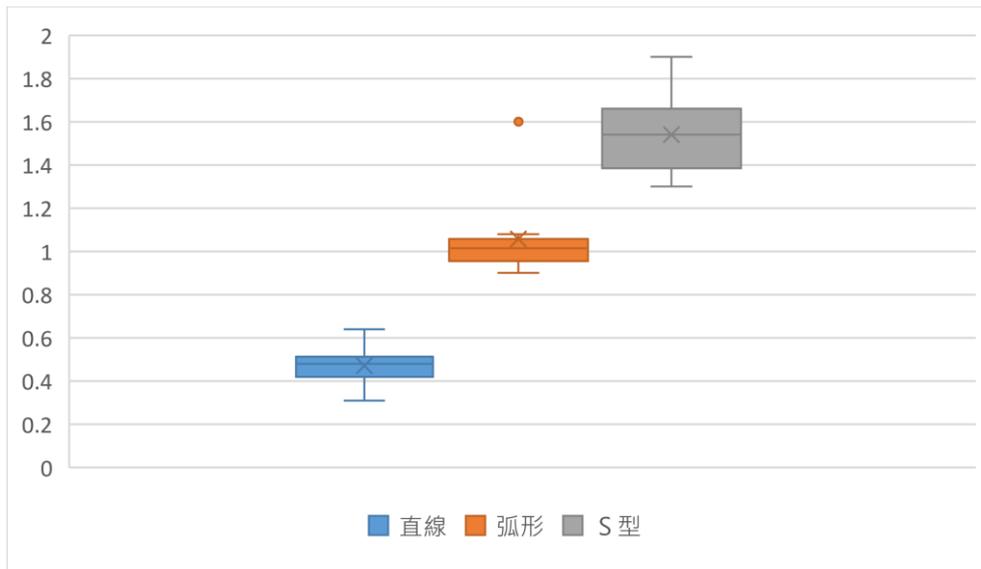
我們想要了解，不同形狀的線圈軌道會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表十，再根據表十結果繪製成圖三十二、圖三十三。

表十 磁浮列車通過不同形狀線圈所需時間

	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均(S)
直線	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
弧形	0.99	0.90	1.02	0.96	0.94	1.01	1.05	1.02	1.60	1.08	1.06
S型	1.54	1.90	1.30	1.55	1.54	1.63	1.75	1.40	1.46	1.34	1.54



圖三十二 磁浮列車通過不同形狀線圈所需時間



圖三十三 磁浮列車通過不同形狀線圈軌道所需時間

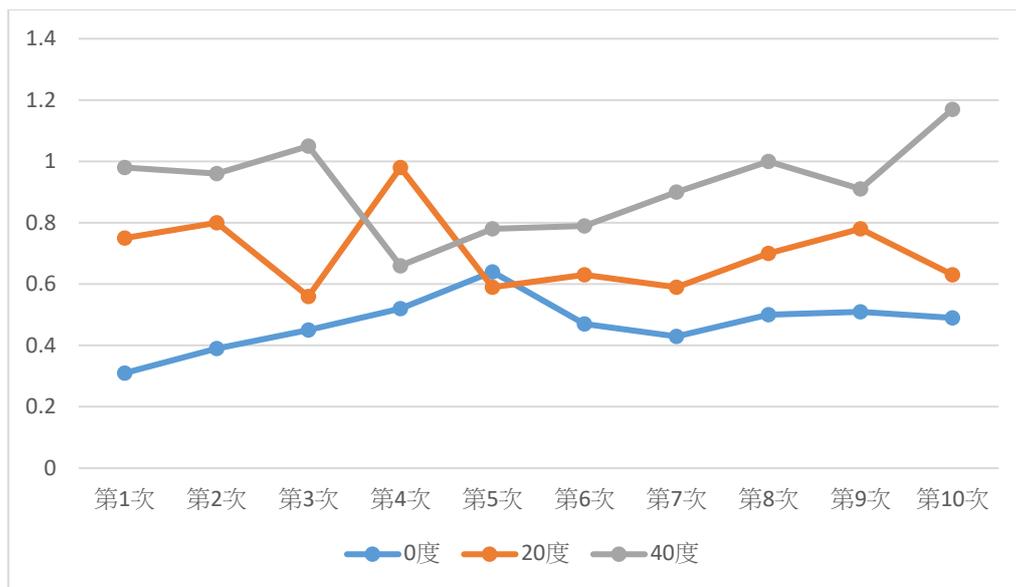
經過實驗我們發現，磁浮列車在直線線圈中跑的速度比在弧形線圈快，在弧形線圈中又跑得比 S 型線圈來的快。根據實驗結果發現，軌道轉彎處越多，跑得速度就越慢，因為速度太快會不好轉向，所以遇到彎道時就會減速，因此彎道越多速度就會越慢。根據圖三十三可以察覺，每轉一個彎大概需要多花一倍的時間，弧形軌道所需時間大約是直線軌道的兩倍；S 型軌道有兩個彎，所需時間大約是直線軌道的三倍。

## 八、線圈擺放角度對磁浮列車速度的影響

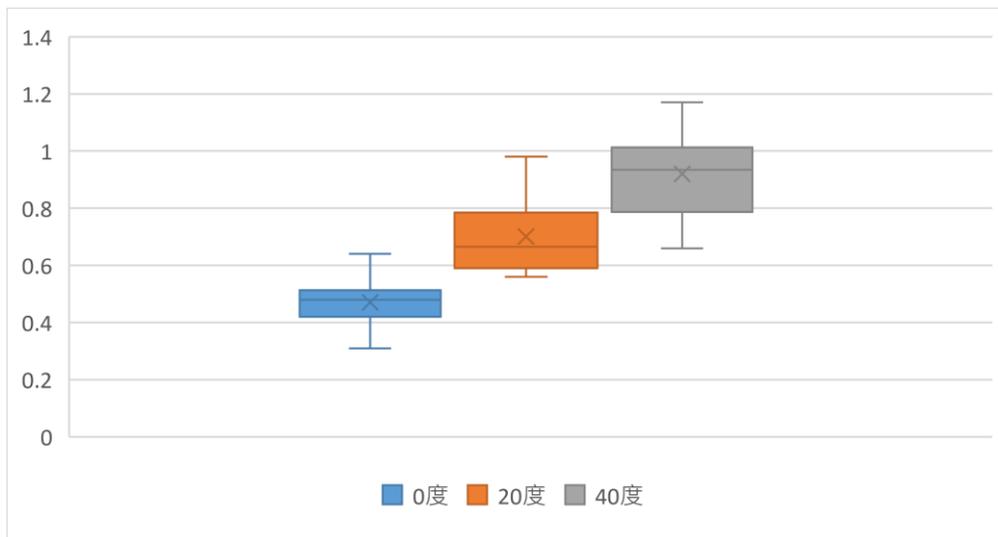
我們想要了解，線圈放在不同角度的軌道上會不會影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表十一，再根據表十結果繪製成圖三十四、圖三十五。

表十一 磁浮列車通過不同角度軌道所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
0 度	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
20 度	0.75	0.80	0.56	0.98	0.59	0.63	0.59	0.70	0.78	0.63	0.70
40 度	0.98	0.96	1.05	0.66	0.78	0.79	0.90	1.00	0.91	1.17	0.92



圖三十四 磁浮列車通過不同角度軌道所需時間



圖三十五 磁浮列車爬升不同角度軌道所需時間

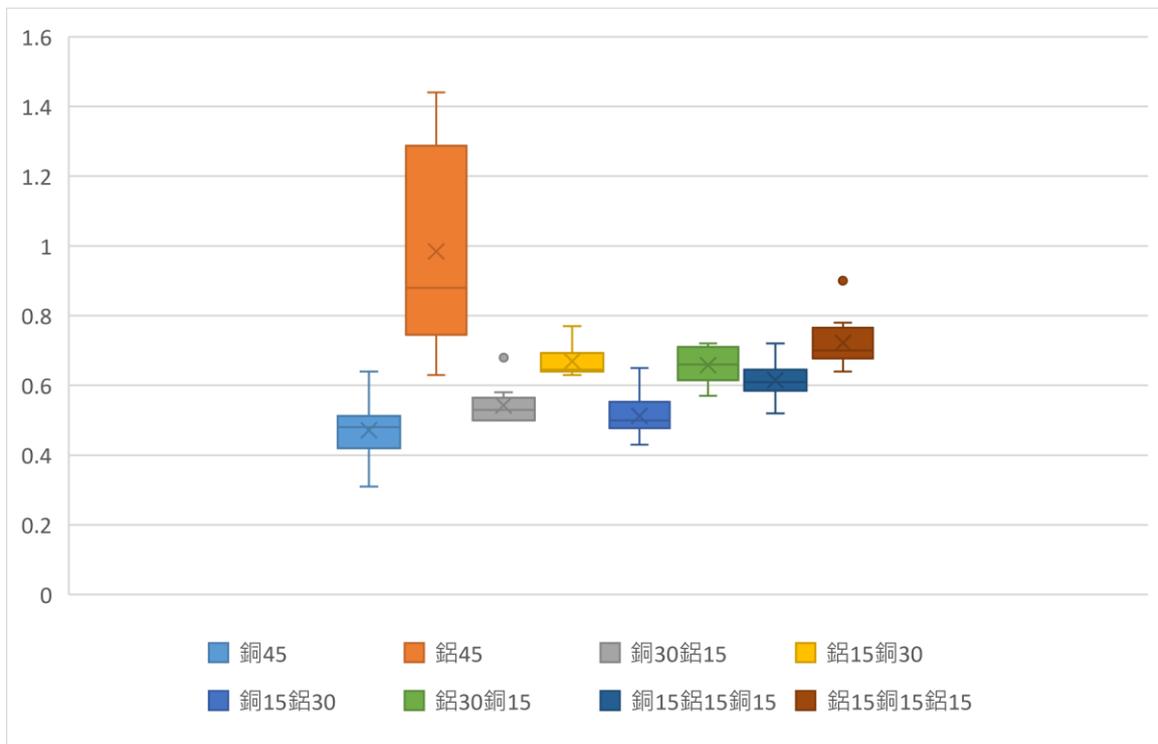
經過實驗我們發現，磁浮列車在平面軌道（0度）的速度最快；二十度上升得軌道第二快；四十度上升得軌道最慢。我們可以知道當角度越大時表示坡度越陡，磁浮列車的動力都相同，所以當則角度越大時，磁浮列車的會越慢。

## 九、結合不同材質線圈對磁浮列車速度的影響

我們想要了解，若由不同材質的線圈結合為 45 公分長的軌道，會不會因為線圈材質不同而影響磁浮列車行進的速度？將實驗數據整理如下表十二，再根據表十二結果繪製成圖三十六。

表十二 磁浮列車通過不同材質線圈所需時間

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均 (S)
銅 45	0.31	0.39	0.45	0.52	0.64	0.47	0.43	0.50	0.51	0.49	0.47
銅 30 鋁 15	0.56	0.54	0.51	0.52	0.50	0.50	0.58	0.68	0.50	0.54	0.54
銅 15 鋁 30	0.50	0.43	0.50	0.44	0.49	0.65	0.56	0.51	0.49	0.55	0.51
銅 15 鋁 15 銅 15	0.64	0.66	0.60	0.62	0.57	0.59	0.72	0.64	0.52	0.59	0.62
鋁 45	0.80	0.63	1.40	1.25	0.94	0.75	1.08	1.44	0.82	0.73	0.98
鋁 30 銅 15	0.57	0.71	0.72	0.69	0.63	0.60	0.70	0.62	0.71	0.63	0.66
鋁 15 銅 30	0.64	0.67	0.77	0.64	0.64	0.63	0.64	0.68	0.73	0.65	0.67
鋁 15 銅 15 鋁 15	0.70	0.67	0.68	0.64	0.68	0.70	0.71	0.90	0.78	0.76	0.72



圖三十六 磁浮列車通過不同材質線圈所需時間

根據表十二我們可以得知磁浮列車通過線圈的速度為：

- (1) 銅 45
- (2) 銅 15 鋁 30
- (3) 銅 30 鋁 15
- (4) 銅 15 鋁 15 銅 15
- (5) 鋁 30 銅 15
- (6) 鋁 15 銅 30
- (7) 鋁 15 銅 15 鋁 15
- (8) 鋁 45

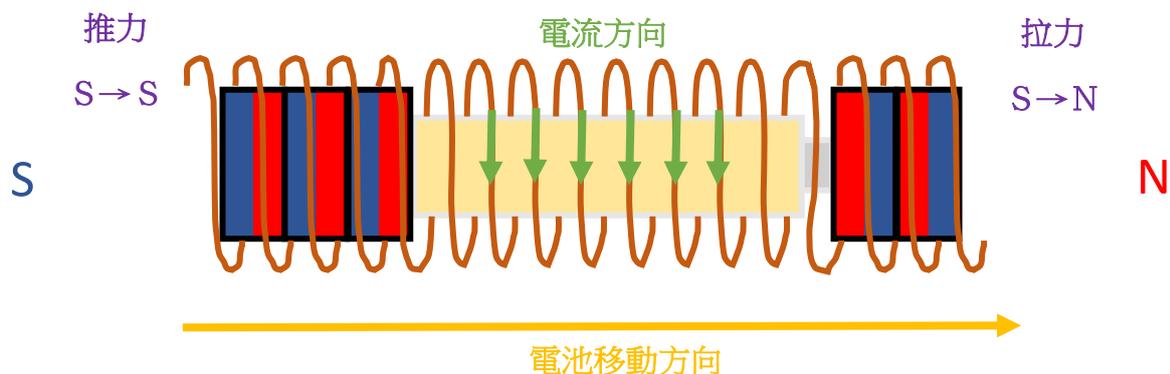
經過實驗我們發現，相同長度、不同材質線圈結合時，銅線在起始端會讓磁浮列車的速度較快。磁浮列車通過銅線 15 公分鋁線 30 公分的組合時，會比銅線 30 公分鋁線 15 公分的組合來的快；而當磁浮列車通過鋁線 30 公分銅線 15 公分組合時，又會比鋁線 15 公分銅線 30 公分的組合來的快，再加上實驗二的結果發現，當線圈長度等比增加時，磁浮列車通過

銅線線圈所花的時間會增加的比鋁線線圈多，因此我們推論當鋁線線圈的單一長度是銅線線圈長度的兩倍時，磁浮列車的行進較為穩定而速度較快，因此製作不同材質線圈結合時，推薦以銅線線圈在前，鋁線線圈在後，線圈長度比為 1：2 的情況下能使磁浮列車行駛速度最快。

## 陸、討論

### 一、線圈纏繞方向與電池正負極和磁鐵磁極擺放關係

我們的線圈都是逆時針纏繞，根據安培右手定則，我們可以判斷出磁浮列車的運動方向會向右前進，而右方的磁場為 N 極，左方為 S 極，因此我們選擇電池的正極以磁鐵 S 極朝前方，與磁場 N 極形成異極相吸的情況，進而拉動磁浮列車前進；電池的負極以 S 極朝後方，與磁場 S 極形成同極相斥的情況，因而推動磁浮列車前進，利用這一推一拉的作用，使磁浮列車能順利前行，如圖三十七所示。



圖三十七 磁浮列車行進原理

磁浮列車是利用「同極相斥、異極相吸」的原理，使它一拉一推的前進，因此電池前後的磁鐵需要擺放為同極（N - N 或 S - S），當磁鐵擺放為相異兩極時，則無法讓它前進。另外，磁浮列車也可以選擇以電池負極端先進入線圈，根據安培右手定則，皆可找出其移動方向，以判斷放入位置。

## 二、銅線線圈與鋁線線圈長度增加時對磁浮列車速度的影響

經過實驗我們發現，磁浮列車經過 90 公分的銅線線圈內所需時間是經過 45 公分銅線線圈所需時間的 2.38 倍；經過 90 公分的鋁線線圈內所需時間則是經過 45 公分鋁線線圈所需時間的 1.78 倍，當線圈長度越長時，磁浮列車在鋁線線圈內的表現相較穩定。磁浮列車經過不同材質線圈結合的軌道時，我們發現以銅線線圈在前、鋁線線圈在後的表現較佳，當銅線線圈與鋁線線圈長度比為 1:2 的情況下，能使磁浮列車行駛速度最快。

得到這樣的結果使我們推測：是因為銅線線圈讓磁浮列車起步較快，而後在經過鋁線線圈時仍能穩定的維持速度，使得這樣的材質組合表現最佳。讓我們不經好奇，若以相同比例延伸為 90 公分的線圈長時，是否也是已銅線線圈 30 公分與鋁線 60 公分的材質結合為速度最佳的組合。

## 柒、結論

- 一、磁浮列車在銅線線圈中跑得速度比在鋁線線圈中快。
- 二、磁浮列車在較長的銅線線圈中依舊跑得比較快，但銅線線圈與鋁線線圈長度等比增加時，磁浮列車通過銅線線圈的時間比率較通過鋁線線圈的時間多。
- 三、磁浮列車在電池正極連接兩個強力磁鐵，負極連接三個強力磁鐵最快。
- 四、磁浮列車車身為充電電池時，行駛速度最快。
- 五、將鐵片放在磁浮列車正負極上強力磁鐵的兩端，可以使磁力最集中，使磁浮列車跑得速度比其他擺放方式來得快，但加入鐵片的同時也增加了重量，因此增加鐵片的磁浮列車仍舊跑得比不加鐵片的磁浮列車慢。
- 六、磁浮列車沒有載重時速度最快，載重越重則速度越慢。
- 七、磁浮列車直線前進時速度最快，軌道每多一個彎，則所需時間約增加一倍。
- 八、磁浮列車在平面行進速度最快，爬升坡度越陡則速度越慢。

九、相同長度、不同材質線圈結合時，銅線在起始端會讓磁浮列車的速度較快。當銅線線圈與鋁線線圈長度比為 1:2 的情況下（銅線線圈 15 公分鋁線線圈 30 公分），能使磁浮列車行駛速度最快。

## 捌、參考文獻資料

1. 新竹市第 37 屆中小學科學展覽會 - 神奇的磁浮列車
2. 金門地區第 57 屆中小學科學展覽會 - 看不見的雙手-磁浮列車
3. 彰化縣第 60 屆中小學科學展覽會 - 瘋磁電車—探討磁浮列車的原理
4. NTCU 科學遊戲實驗室－簡易電聯車，取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/electric/electric-035.html>
5. 維基百科－電導率，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E5%B0%8E%E7%8E%87>