

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030105

翻滾吧!電池車

學校名稱：臺南縣私立興國高級中學(附設國中)

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國三 王豪謙 國三 翁銓似 國三 謝庭軒 國三 許甜憫 | 指導老師： 黃淑芬 曾健家 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：電與磁、加速度、煞車

翻滾吧!電池車

壹、摘要

經由網路上裝置的改良，我們找到最適當的電池車裝置：以AAA充電電池為電源，直徑26mm的圓形鐵製金屬墊片為輪子，1號強力磁鐵吸於電池的正負極，跨上50芯銅絞線後，在電與磁的交互作用下可以讓電池車滾動，在玻璃面上進行加速度值約為 29.1 cm/s^2 的直線運動。利用電池車來探討運動定律在水平直線運動中的控制變因實驗，整體運動體的質量固定下，改變導線芯數或改變磁場的大小以增減電池車所受之合力，會與加速度成正比；進一步以電池車進行斜面上的運動，可以將電與磁所產生的作用力做為運動時的阻力，將此運用在改裝的迴力車上，可以做為煞車的工具。

貳、研究動機

近來油價高漲，科學家正汲汲於開發不使用化石能源的汽車，不再給地球負擔的汽車，剛好課程學到有關電與磁的範圍，老師示範了一個單極馬達，並介紹相關網站給我們。等我們上去觀看後，對於另外一種馬達，可以像車子一樣地跑，感到很新奇，讓我們想說可不可以利用電與磁做一個與傳統馬達驅動方式不同的車子，於是我們決定運用控制變因實驗來找到可以最佳條件之電池車。

參、研究目的

本報告的主要目的為探討電與磁結合所產生之效應以及其深入應用的方法。

- 一、利用通有電流的導線與磁鐵所產生之效應形成一可以滾動的電池車。
- 二、找尋最適當的滾動裝置。
- 三、分別探討裝置中導線、磁鐵、墊片、整體質量、不同廠牌電池等對電池車在水平面上滾動的影響。
- 四、試著分別以水平、斜面上下坡此兩種不同運動方式來觀察比較電池車運動情形。
- 五、將電池車的裝置延伸應用在車子的煞車系統。

肆、研究設備及器材

一、研究器材

| | |
|------------|---|
| (一) 馬達部分 | 強力鉤鐵錒磁鐵、電池、導線、墊片，規格詳見表格 |
| (二) 測量磁性大小 | 指北針、量角器 |
| (三) 測量運動部分 | 瓦楞紙(黑色.長約100 cm)、玻璃板(108x29 cm)、墊高用之積木 (7.8 x3.9x1.45 cm)、膠帶、空筆管、電子天平、數位相機(Panasonic LUMIX) |
| (四) 應用部分 | 玩具車、橡膠墊片、雙面膠、電池座 |
| (五) 數據分析部分 | excel、Adobe Photoshop Album Starter Edition 3.0 |

1. 單一圓形強力鈹鐵鋁磁鐵規格

| 編號 規格 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|-------|------|------|------|-------|
| 厚度(mm) | 10.0 | 4.0 | 4.0 | 2.0 | 10.0 |
| 直徑(mm) | 20.0 | 11.0 | 10.0 | 5.0 | 30.0 |
| 質量(g) | 11.76 | 4.05 | 2.90 | 0.19 | 32.53 |

2. 鐵製墊片規格

| 編號 規格 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|------|------|------|------|
| 厚度(mm) | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 外直徑(mm) | 26.0 | 13.0 | 13.0 | 9.5 |
| 內直徑(mm) | 10.0 | 5.5 | 6.0 | 5.5 |
| 質量(g) | 6.52 | 0.87 | 0.77 | 0.40 |

3. 銅導線規格

| 編號 規格 | 銅絞線 | | | | 單條粗 銅線 |
|----------|------|------|------|-------|-----------|
| | 20 芯 | 30 芯 | 50 芯 | 100 芯 | |
| 長度(mm) | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| 直徑(mm) | × | × | × | × | 1.0 |
| 質量(g) | 0.89 | 1.25 | 2.30 | 2.78 | 1.55 |

4. 電池規格

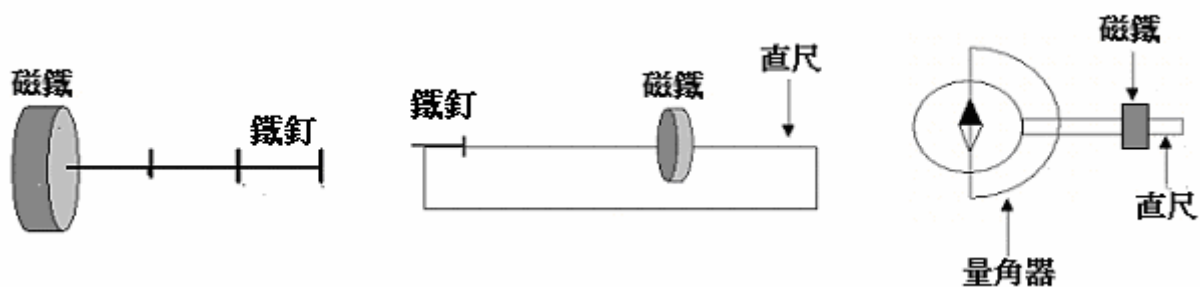
| 編號 規格 | I | II | III | IV |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 廠牌 | YUASA 湯淺 | 國際牌 | 金頂 | 勁量 |
| 電池類別 | 鎳氫充電電池 | 鎳氫充電電池 | 鹼性乾電池 | 鹼性乾電池 |
| 大小 | AAA | AAA | AAA | AA |
| 直徑(cm)×長(cm) | 1.00×4.40 | 1.00×4.40 | 1.00×4.50 | 1.40×5.00 |
| 質量(g) | 12.35 | 12.12 | 11.13 | 23.81 |

伍、研究過程或方法

【第一部份：磁場量測】

實驗一、磁場測定

- 以圖(一)中所列之三種方法測量各種式樣的單一磁鐵或兩個以上磁鐵相疊的磁場大小。



圖(一) 不同測量磁場的方法

【第二部份：滾動裝置】

實驗二：使用網路上滾動裝置，比較不同形式的銅線

1. 兩個直徑小於電池直徑的強力磁鐵，分別 S 極朝外後吸附於電池正負極。電池正極向左。以電池為輪子，如(圖二)。
2. 分別以一粗銅線(直徑 1.0 mm)或銅絞線(50 芯)，調整其長度並適當彎曲，跨於磁鐵上後，觀察電池車滾動情形。如圖(二)所示。比較電池車滾動情形。



圖(二) 網路上的電池車裝置

實驗三：比較不同形狀的銅絞線，對滾動的影響。

1. 裝置如實驗二。
2. 如圖(三)，以銅絞線分別彎成 U 字型或 V 字型或口字型，跨於磁鐵上後，觀察電池車滾動情形。



U 字型
(剝除銅絞線前方)

U 字型

口字型

V 字型

圖(三) 不同形狀的銅絞線

實驗四：比較銅絞線外面的材質性質，對滾動的影響。

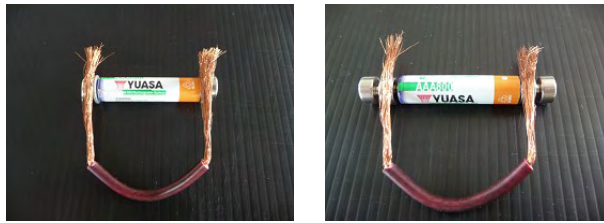
1. 裝置如實驗二。
2. 如圖(四)，不同外面材質的銅絞線跨於磁鐵上後，觀察電池車滾動情形。



圖(四) 不同外面材質的銅絞線

實驗五：改變裝置，使導線不易脫落，能持續通電

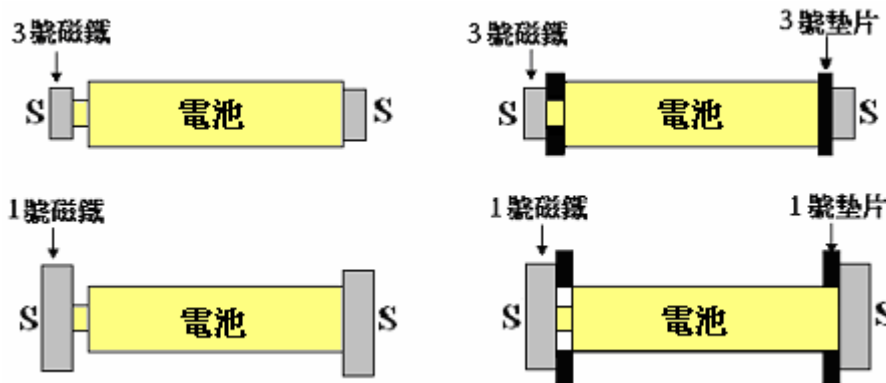
1. 如圖(五)，利用墊片或磁鐵組合，將導線分別跨於磁鐵上後，觀察電池車滾動情形。



圖(五) 不同溝槽設計

實驗六：改變電池車滾動的主體-輪子。

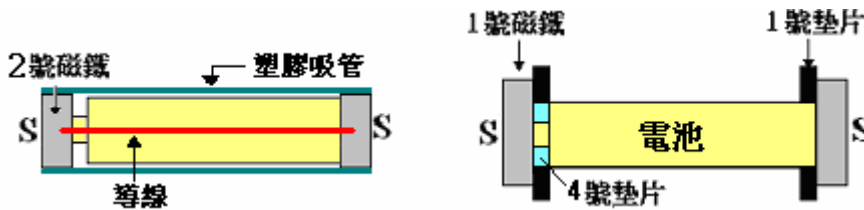
1. 如圖(六)，分別以電池(左上)、墊片(右上與右下)、磁鐵(左下)做輪子滾動。
2. 分別記錄不同裝置跨上 100 芯銅導線後，在玻璃跑道上跑 100 cm 所需之時間。



圖(六) 不同的滾動主體

實驗七、克服滾動不平衡

1. 把實驗裝置套入吸管中，如圖(七)左。
2. 在電池正極處放上 4 號墊片，使正極凸出處能夠平穩，如圖(七)右。

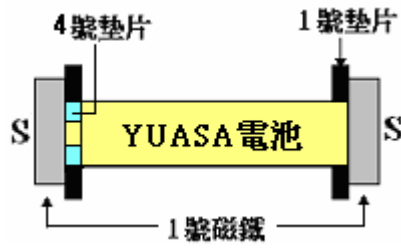


圖(七) 不同的滾動裝置以克服滾動平衡

【第三部份：電池車運動的量測】

實驗八、運動測量、分析方法

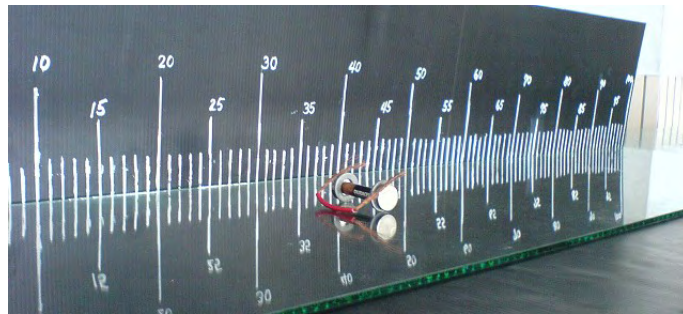
- (一) 標準裝置：以兩片 1 號墊片當輪子，AAA YUASA 充電電池為電源，電池正極部分再加裝一個 4 號墊片。兩墊片外面分別吸有強力磁鐵，再跨上銅絞線做為導線，如圖(八)。



圖(八) 電池車標準裝置示意圖

〈二〉實驗步驟：

1. 用黑色瓦楞紙做一把長一百公分的尺，將其直立。
2. 使實驗裝置在尺前的玻璃板上滾動，如圖(九)所示。
3. 使用數位相機錄影後，將影片放入電腦中，每 0.2 秒紀錄一次位置。
4. 每個條件的滾動，皆重複三次。利用 excel 分析運動的位置 X 與時間 t 的關係圖。



圖(九) 電池車滾動測量之跑道標準裝置

實驗九、改變不同芯數的銅絞線與單條粗銅線，觀察其對滾動裝置的影響

1. 先以相同長度、但芯數不同的銅絞線，連接電池與燈泡，測其流過之電流。
2. 使用標準裝置，將車子置於跑道之起跑點 (0cm) 上，分別以 20、30、50、100 芯導線兩端接觸磁鐵使之通電，使車子開始往前跑。測其 $X-t$ 圖。

實驗十、改變滾動裝置的質量，觀察其運動情形

1. 分別以總質量 50.329g、52.015g、53.533g 來進行滾動實驗。

實驗十一、使用磁場大小不同的磁鐵，測其運動情形

1. 總運動質量固定，以 1 個 3 號磁鐵或各放 1 個 2 號磁鐵和 1 個 4 號磁鐵進行滾動。

實驗十二、改變不同廠牌電池，比較電池車運動的情形

1. 將標準裝置分別使用不同廠牌的電池做為電源。
2. 跨導線於磁鐵上，置於玻璃板上滾動，測其 $X-t$ 圖。

實驗十三、改變不同的坡度測出滾動裝置的加速度

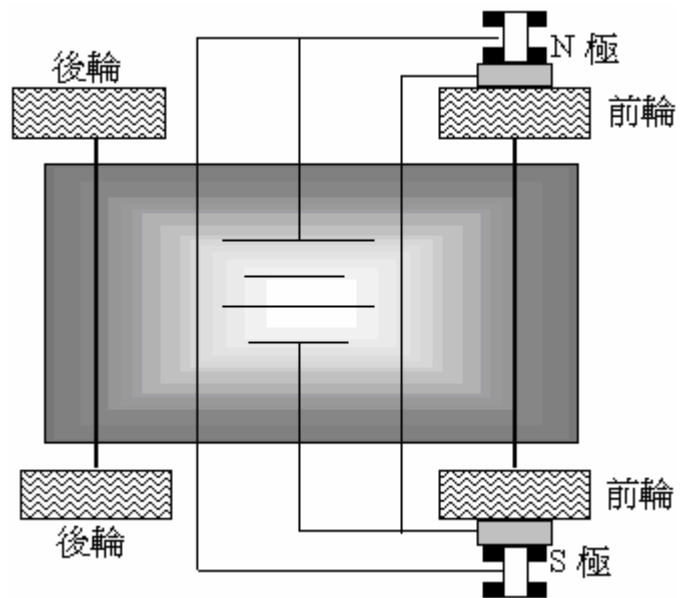
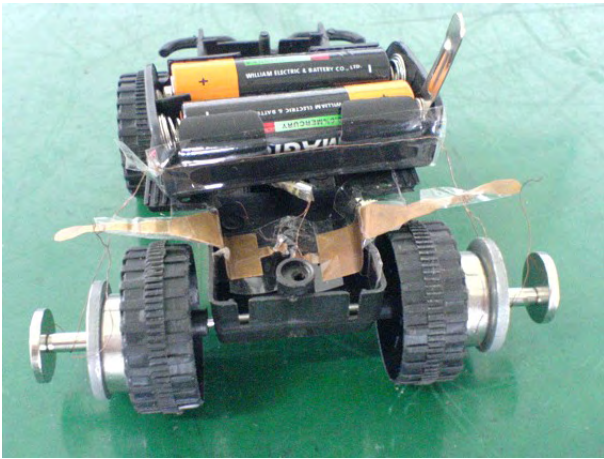
1. 將玻璃片分別以不同數目之積木墊高，使用量角器測其坡度為 1° 、 2° 、 4° ，使標準裝置，加上導線通電下滑。
2. 坡度為 2° ，使裝置在不通電的情況下下滑以作為空白實驗組。進一步使裝置通電，電池反向後減速下滑。

【第四部份：應用部分】

實驗十四、煞車系統

(一) 實驗步驟：

1. 將一個 1 號磁鐵(S 極向外)以泡棉黏在迴力車右前輪，另外一個 1 號磁鐵 (N 極向外)以泡棉黏在迴力車左前輪，在磁鐵上再分別連出兩個軸狀磁鐵，如圖(十)。軸狀磁鐵兩端分別穿過兩片的橡膠墊片，可以防止導線脫離。
2. 在未通電下，將後輪轉四分之一圈，讓迴力車跑動，記錄最終停止之距離。
3. 通電後，將後輪轉動四分之一圈，跑動後記錄其最終停止之距離。
4. 左右前輪各再多加一個 2 號磁鐵，通電後，後輪轉動四分之一圈，跑動後記錄其最終停止之距離。
5. 改使用 5 號磁鐵，後輪轉動二分之一圈，分別通電與不通電的情形下跑動。



圖(十) 改良迴力車煞車系統照片與示意圖

陸、研究結果

【第一部份：磁鐵磁場大小的量測】

一、進行【實驗一】所得結果整理於(表一)~(表三)：

(表一) 單一磁鐵的磁場測量

| 磁鐵編號 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|-------|------|-----|-----|------|-----|
| 測量方法 | | | | | | |
| 吸住鐵釘的數目(根) | | 6 | 5 | 5 | 2 | --- |
| 吸引迴紋針開始移動之距離(cm) | | 3.7 | 2.5 | 2.2 | 0.95 | --- |
| 磁針偏轉角度(°) | 10 cm | 82 | 71 | 66 | 2 | 90 |
| | 15 cm | 66 | 47 | 36 | --- | 90 |
| | 20 cm | 52.5 | 23 | 17 | --- | 80 |

(表二) 不同規格的磁鐵磁場大小(距離 10 cm)

| 測量方法 \ 磁鐵編號 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|--------|---------|---------|---------|
| 磁針偏轉角度(°) | 82 | 71 | 66 | 2 |
| 磁場大小(B) | 7.12Be | 2.90 Be | 2.25 Be | 0.03 Be |
| 廠商提供之表面磁場(Gauss) | ----- | ----- | 3700 | 2900 |

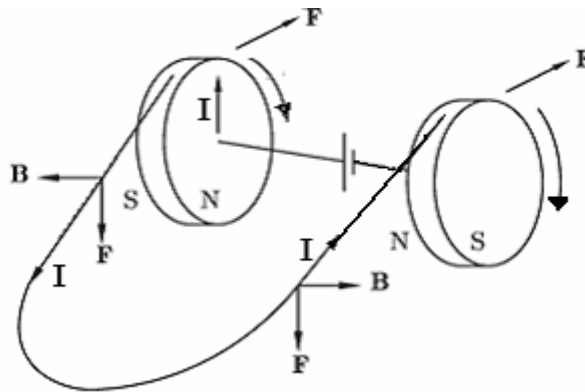
(表三) 多個磁鐵組合的磁場測量

| 編號 \ 偏轉角度(°) | | 2 號×1 | | 2 號×2 | | 2 號×3 | | 2 號×4 | | 2+4 號 | |
|--------------|-------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| | | θ | $\tan\theta$ | θ | $\tan\theta$ | θ | $\tan\theta$ | θ | $\tan\theta$ | θ | $\tan\theta$ |
| 磁針 距離 | 10 cm | 71 | 2.904 | 90 | ∞ | 90 | ∞ | 90 | ∞ | 84 | 9.514 |
| | 15 cm | 47 | 1.072 | 63 | 1.963 | 71 | 2.904 | 76 | 4.015 | 54 | 1.376 |
| | 20 cm | 23 | 0.425 | 45 | 1 | 55 | 1.963 | 63 | 1.963 | 22 | 0.404 |

【第二部份：滾動裝置】

二、進行【實驗二】結果如下：

- 〈一〉經由右手開掌定則判斷，電池車裝置可以如車輪般向前滾動，必須產生一個向下的轉動力矩，當電池的正極朝向左端時，吸在電池正負極的磁鐵必須 S 極朝外，才可以順利向前滾動，如圖(十一)。



圖(十一) 電池車磁鐵的擺放與受力情形

- 〈二〉我們剛開始仿造網路上的方法，找了一條粗銅漆包線，以砂紙磨掉前端的漆後，彎曲後跨放在磁鐵上，卻很難使裝置滾動。
- 〈三〉進一步我們用鐵鎚將前端的銅線敲扁，稍稍沿著磁鐵的弧度彎曲後跨放在磁鐵上，依舊無法使裝置滾動。
- 〈四〉使用銅絞線，將前端稍彎曲後跨放在磁鐵上，可以使裝置如網路上所示向前滾動。
- 〈五〉在相同長度下，使用銅絞線會較粗銅線容易、且快速，所以往後實驗以銅絞線為主要連接導線。

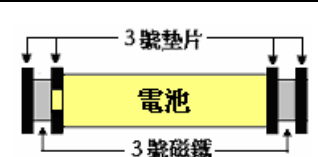
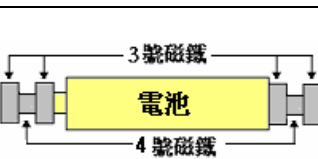
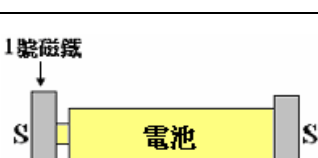
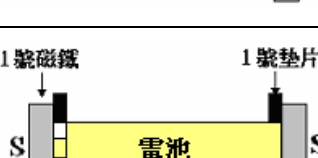


三、進行【實驗三與實驗四】所得結果整理於(表四)：

(表四) 不同形狀導線與接觸面的影響

| 形狀 | 接觸面 | 滾動情形 |
|-----|------|-------------------------------|
| ∩字型 | 塑膠外皮 | 當產生磁力太大時，導線很容易就被彈開 |
| V字型 | 塑膠外皮 | 進行滾動，導線不易被彈開，但導線不易定型，會變成U字型。 |
| U字型 | 塑膠外皮 | 其效果與V字型差不多，且形狀較為固定，不會跑到一半就變形。 |
| U字型 | 純銅線 | 與跑道接觸面間不夠平滑，造成的摩擦力會較大。 |
| U字型 | 塑膠吸管 | 吸管不能緊密的套住導線，有時吸管與導線的運動方向略有不同。 |

四、進行【實驗五、實驗六與實驗七】所得結果整理於下表：

(表五) 不同組合與輪子主體對滾動的影響

| 不同組合 | 輪子主體 | 滾動情形 | 質量 (g) | 時間 (s) | \bar{v} (cm/s) |
|---|-------|--------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------|
|  | 3 號墊片 | 導線在滾動過程中，可以在溝槽中不易掉落，但因重心較低而易偏離軌道。 | 21.329 | 6.01 | 16.64 |
|  | 電池 | 導線不掉落，但此用法會使整體質量變大，且磁鐵直徑不得大於電池直徑。 | 24.321 | 18.64 | 5.37 |
|  | 1 號磁鐵 | 磁鐵滾動時，電池兩極均易偏離磁鐵中心，滾動時裝置易垮掉，導線也不易固定。 | 40.058 | 11.86 (45cm) | 3.79 |
|  | 1 號墊片 | 磁鐵滾動時能較平穩，裝置不易垮掉，但電池正極易偏離中心而使滾動不平均。 | 51.979 | 5.93 | 16.86 |
|  | 1 號墊片 | 磁鐵滾動時能較平穩，裝置不易垮掉，且電池正極不易偏離中心，滾動情形最佳。 | 52.363 | 5.89 | 16.98 |
|  | 塑膠套管 | 電池會發燙，表示有通電，但是裝置卻無法滾動。 | --- | --- | --- |

【第三部份：滾動速度的量測】

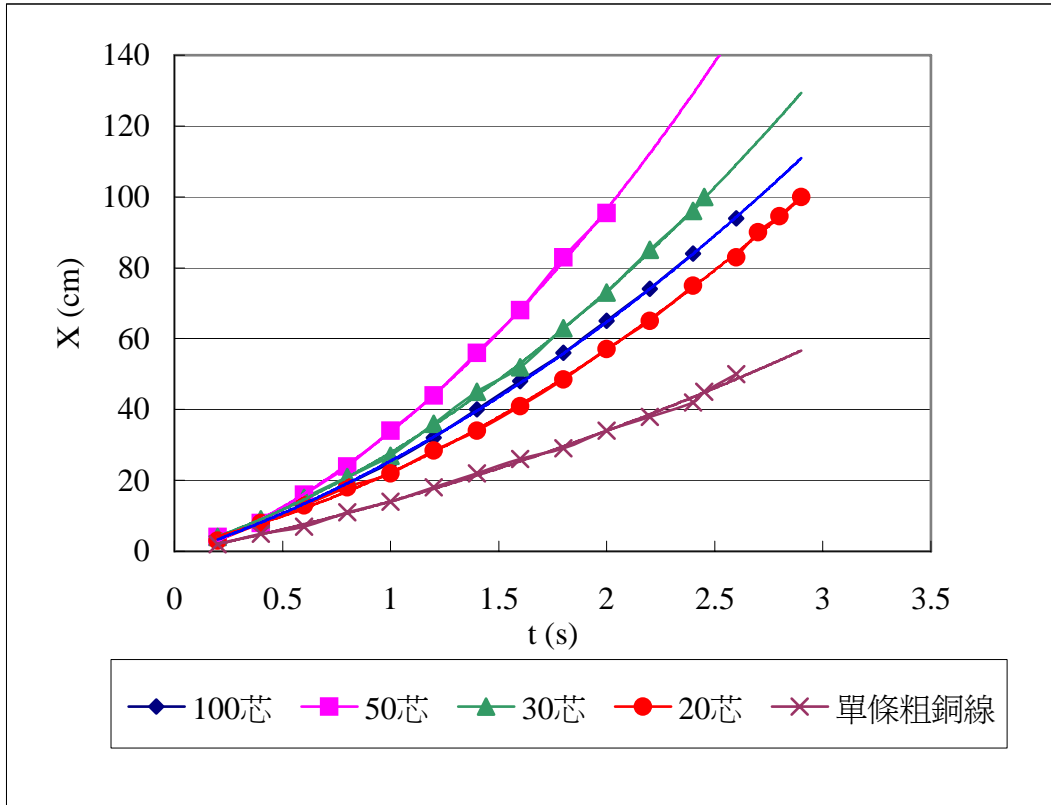
五、進行【實驗八~實驗十三】，所有的變因整理於(表六)，結果如圖(十二)~圖(十六)所示：

(一) 分別就導線芯數、運動總質量、磁場大小、不同電池、運動方式等變因進行控制變因實驗。用數位攝影機錄下電池車的滾動情形，每 0.2 秒擷取影像，記錄車子的位置，由其X-t圖，以excel畫出二次多項式的趨勢線，利用 $X = 1/2at^2$ ，可以大致計算出電池車運動的加速度。

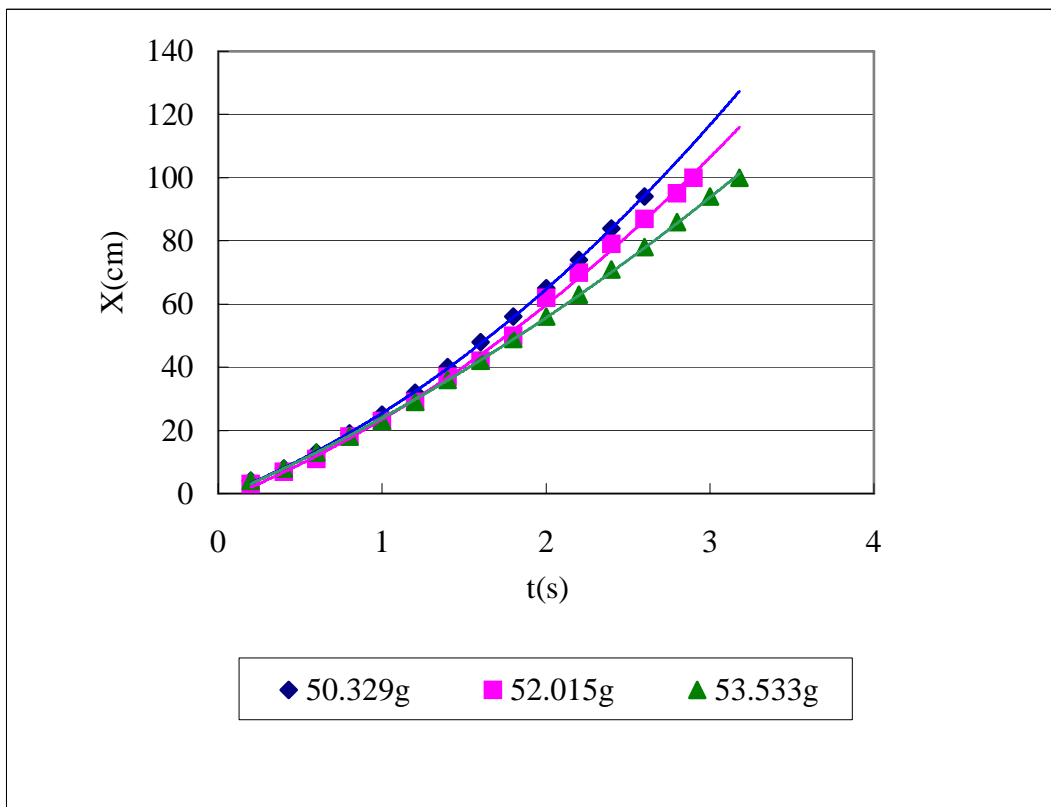
(表六) 電池車運動之控制變因實驗

| 實驗編號 | 裝置 | 電壓(V) | 導線芯數 | 質量(g) | 運動方式 | 加速度(cm/s ²) |
|------|--------------------------|-------|------|--------|----------|-------------------------|
| 9-1 | 標準裝置 | 1.438 | 100 | 50.329 | 水平直線運動 | 12.37 |
| 9-2 | | | 50 | | | 29.14 |
| 9-3 | | | 30 | | | 19.05 |
| 9-4 | | | 20 | | | 13.85 |
| 9-5 | | | 粗銅線 | | | 2.27 |
| 10-1 | 標準裝置 | 1.438 | 100 | 50.329 | 水平直線運動 | 12.37 |
| 10-2 | 多加 3 號墊片×2 | | | 52.015 | | 9.69 |
| 10-3 | 多加 3 號墊片×4 | | | 53.533 | | 7.28 |
| 11-1 | I 號電池 + (2 + 4 號磁鐵)×2 | 1.417 | 100 | 23.484 | 水平直線運動 | 8.27 |
| 11-2 | I 號電池 + 2 號磁鐵×2 | | | | | 22.57 |
| 11-3 | I 號電池 + 3 號磁鐵×2 | | | | | 2.40 |
| 12-1 | 標準裝置 | 1.402 | 100 | 50.541 | 水平直線運動 | 9.24 |
| 12-2 | II 號電池 + 1 號磁鐵×2 | 1.440 | | 50.311 | | 14.59 |
| 12-3 | III 號電池 + 1 號磁鐵×2 | 1.430 | | 49.231 | | 8.29 |
| 13-1 | 標準裝置 | 1.411 | 無 | 50.329 | 2°坡度下滑 | 28.12 |
| 13-2 | | | 100 | | 1°坡度下滑 | 29.93 |
| 13-3 | | | | | 2°坡度下滑 | 34.89 |
| 13-4 | | | | | 4°坡度下滑 | 52.71 |
| 13-5 | | | | | 2°坡度減速下滑 | 13.21 |

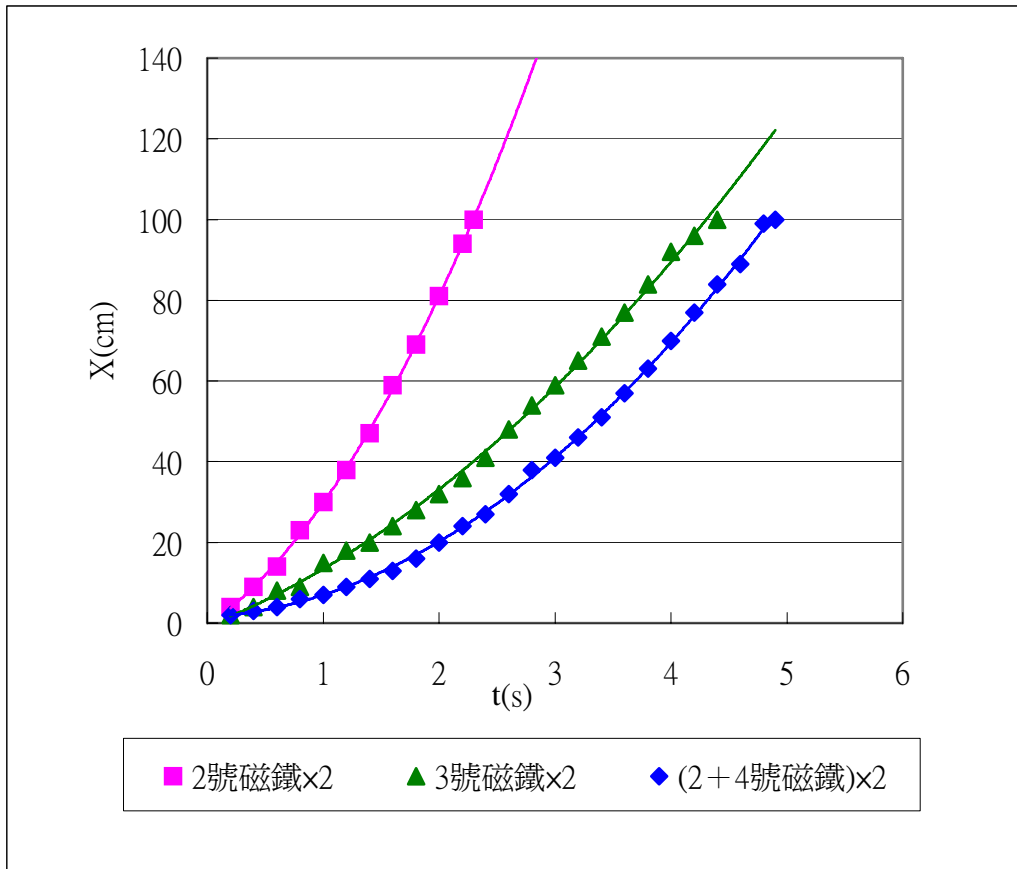
〈二〉圖形結果：



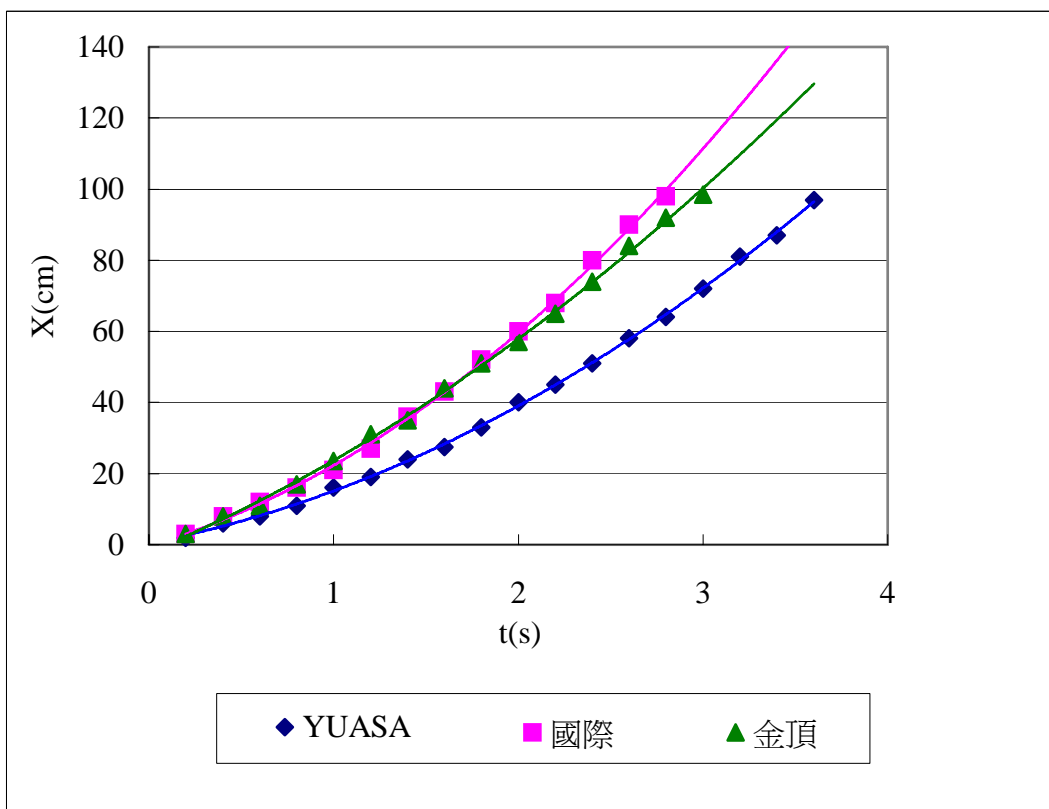
圖(十二) 不同芯數銅絞線與單條銅導線之 X-t 圖



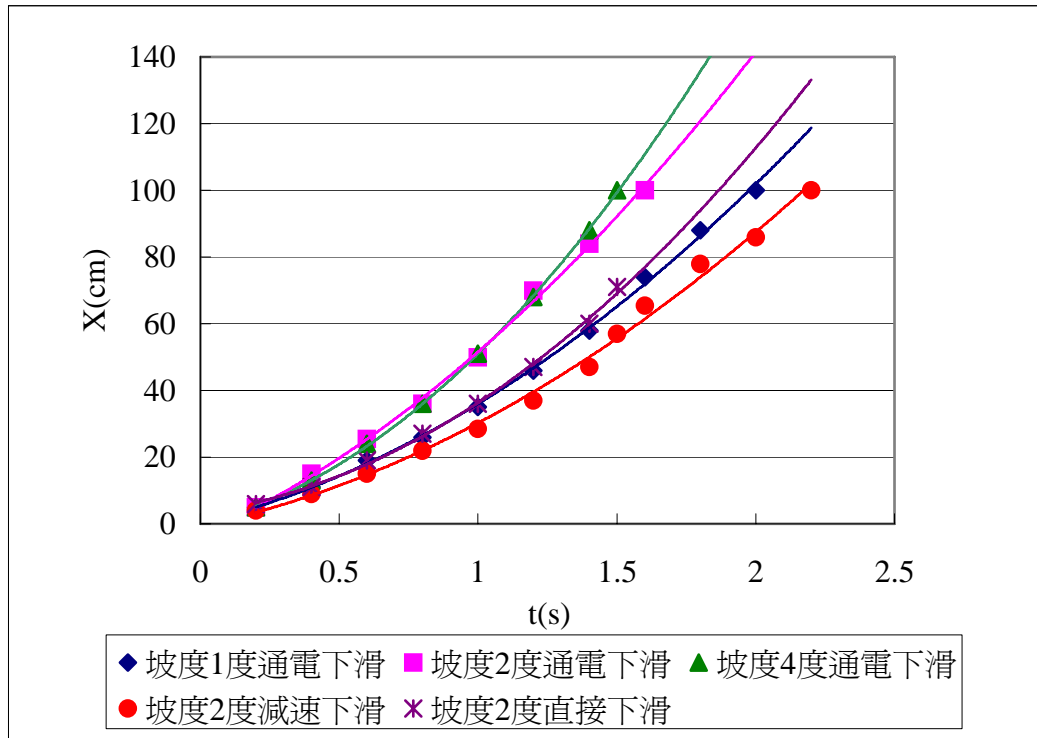
圖(十三) 不同質量之 X-t 圖



圖(十四) 不同磁場之 X-t 圖



圖(十五) 不同廠牌電池之 X-t 圖



圖(十六) 不同坡度下滑之 X-t 圖

【第四部份：應用部分】

六、進行【實驗十四】所得之結果整理於(表七)：

(表七) 迴力車所行駛之距離

| 實驗編號 | 磁鐵種類 | 整體質量(g) | 後輪轉動圈數 | 前輪情形 | 移動距離(cm) |
|------|-----------------|---------|--------|------|----------|
| 14-1 | 1 號磁鐵*2 | 83.125 | 1/4 | 未通電 | 44 |
| 14-2 | | | | 通電 | 34 |
| 14-3 | 1 號磁鐵*2+2 號磁鐵*2 | 124.665 | 1/2 | 通電 | 27 |
| 14-4 | 5 號磁鐵*2 | | | 未通電 | 65 |
| 14-5 | | | | 減速通電 | 55 |
| 14-6 | | | | 加速通電 | 72 |

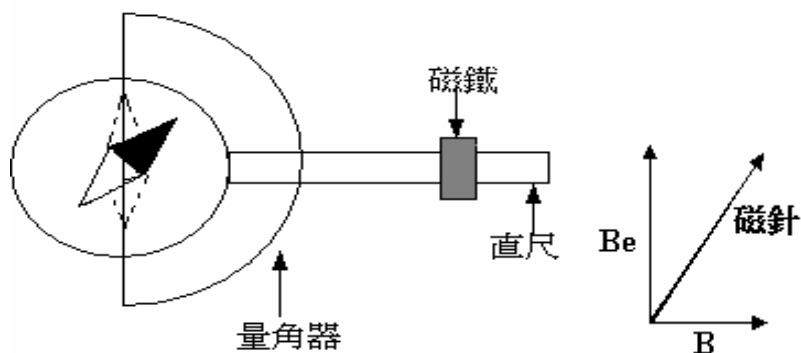
※電池電壓固定為 2.7V。

柒、討論

一、就測量磁場部分：

- 〈一〉在【實驗一】中，利用磁鐵吸引鐵釘或測量迴紋針被吸引的距離的方法，只能知道其相對強度為 1 號 > 2 號 = 3 號 > 4 號，較無法獲知各個磁鐵實際的磁場。
- 〈二〉利用磁鐵與磁針之間的距離固定下，測量磁針偏轉角度，能很明顯的看出角度的不同，再運用三角函數運算： $B_{磁} = B_{地} \times \tan\theta$ ，在 θ 介於 $15^\circ \sim 75^\circ$ 之間，便能得到較合理且精準的以地磁為單位的磁場大小，如圖(十七)，結果如表(一)所示。

但若磁鐵磁性太強，無法太過靠近指針，否則磁針偏轉角度接近 90° ，便無法測量出磁場，所以只能測量特定距離下的磁場，角度方面也有限制，角度太小或太大皆會導致誤差過大。

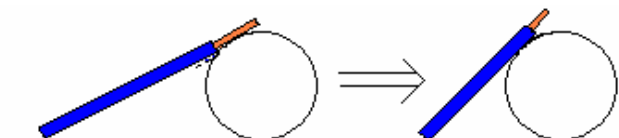


圖(十七) 磁鐵磁場大小與地磁的關係

- 〈三〉不同距離來量測磁針偏轉角度，如表(二)所示。距離越遠磁力越小，偏轉角度越小。而與廠商給的磁鐵規格比較，我們測量出來的磁場大小趨勢和廠商相同，但大小有很大的差異，因廠商提供了磁鐵表面磁場大小，而我們只能測量特定距離的磁場，越接近磁鐵表面，單位面積下通過的磁力數較多，若離磁鐵越遠，通過的磁力線數則越小。經由資料查詢，台南的地磁大小約為 0.36698 Gauss ，以 3 號磁鐵為例，距離 10 cm 下所得之磁場大約只有 1 Gauss ，我們測到的磁場皆小於廠商所給之表面磁場大小。
- 〈四〉利用第三種方法，測量多個磁鐵的組合之磁場，如表(三)。發現組合的磁鐵產生的磁場大小皆較原來單顆磁鐵大，但並不是和所疊的數目成正比，只能說磁鐵數目越多，磁場會隨之增大。

二、就裝置部分：

- 〈一〉經由【實驗二】~【實驗四】，導線的塑膠皮只需留下與桌面接觸的地方便可。如果只剝除前端一小段，滾動時導線與磁鐵間的摩擦力會將導線往上帶，便有可能形成斷路，如圖(十八)。將導線塑膠外皮剝除約 5 cm ，再將導線稍稍凹成與磁鐵差不多的形狀，便能解決此問題。



圖(十八) 導線與磁鐵接觸示意圖

- 〈二〉進行【實驗五】來製造一溝槽，讓導線夾在溝槽中而不掉落。以大小不同的磁鐵組合來製造一溝槽的過程中，發現若侷限於只使用電池本身做為輪子，則磁鐵的直徑大小將受限制。選用金屬墊片夾在磁鐵兩旁，也受限於電池直徑。從電流與磁場的交互作用來看，磁鐵的半徑愈大，所產生的轉動效應愈高，若如網路上所示的例子，以電池本身做為輪子來滾動，則只能選擇直徑比電池小的磁鐵，其所產生的力矩也會較小；而電池整體滾動時，跑道上如有一點小小的缺陷，滾動便容易受影響。

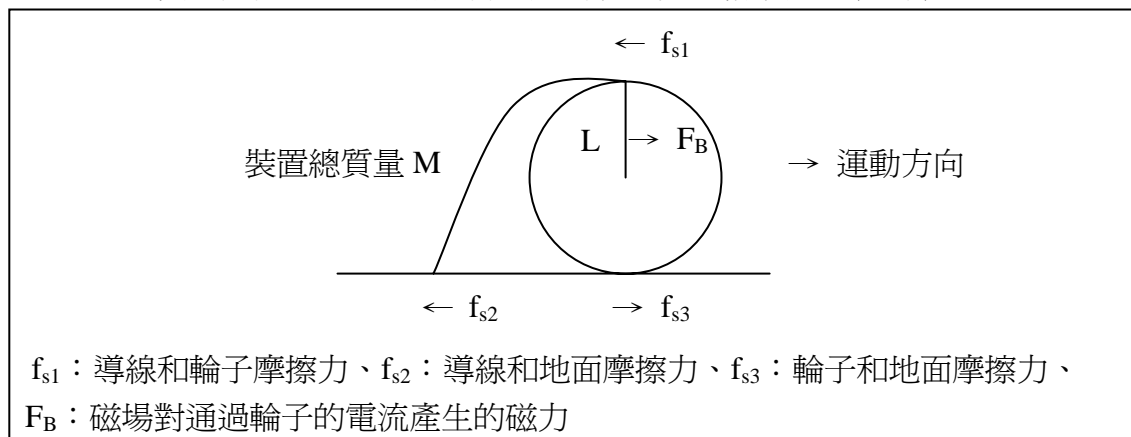
- 〈三〉我們進行【實驗六】，來找尋其他可以作為輪子的主體。與電池為輪胎來相比較，若以磁鐵為輪子，磁鐵與跑道的摩擦力可以比使用電池為輪胎時少了許多，但所測得的平均速度差異不大；使用兩邊加放的墊片來當做輪子，我們發現有較大的平均速度，約為以電池或磁鐵當輪子時的 5 倍。墊片材質堅硬，滾動時沒有導線在其上，可以讓電池車更易滾動。
- 〈四〉進行【實驗七】來克服滾動時所產生的不平衡。我們嘗試將中心有小圓孔的 4 號小墊片放在電池正極與磁鐵之間，電池正極部分能穩固的在中央，使裝置能夠平衡。
- 〈五〉綜合以上實驗我們組出一標準裝置：電池我們使用 AAA YUASA 充電電池，磁鐵選用我們半徑較大但質量適中的 1 號磁鐵，輪子則使用 1 號墊片，電池正極與磁鐵連接處加上一個 4 號墊片，如圖(十九)。



圖(十九) 電池車之標準裝置

三、就直線運動部分：

- 〈一〉電池車在水平面上的運動分析，其所有的受力情形如圖(二十)。



圖(二十) 電池車之受力示意圖

其中影響磁力的因素有三：

- (1) I ：電流、(2) L ：電流通過的長度、(3) B ：磁通量密度。

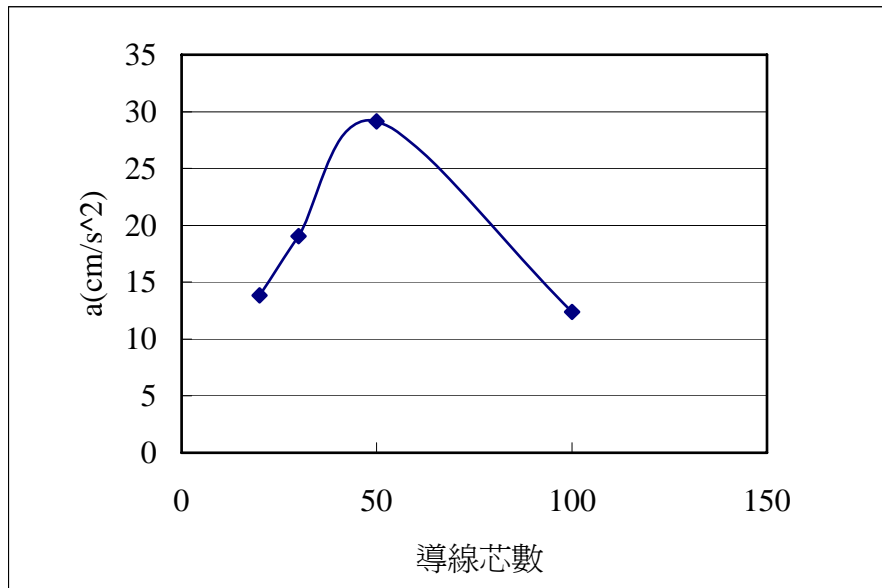
- 〈二〉裝置電路：

整個裝置迴路是簡單的串聯電路，電流會影響磁力大小。因導線電阻極小，規格對電流影響不大，材質皆為銅線，所以我們大膽假設影響磁力關鍵的因素為導線與輪子的接觸。

- 〈三〉進行控制變因實驗：

1. 比較不同芯數的影響：

從【實驗九】中，在只改變導線芯數的條件下，若導線芯數越多，產生的加速度越大，如圖(二十一)，表示所受磁力越大，可證明導線接點數對電流的大小有顯著影響，接點越多，電流流過截面積越大，電流越大且電阻會較小。

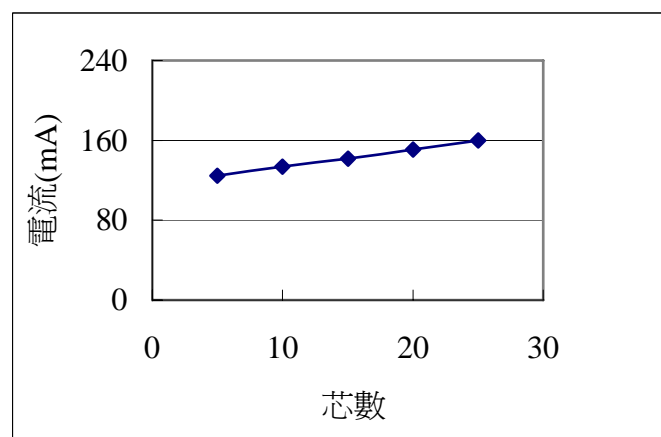


圖(二十一) 不同導線芯數與加速度的關係

爲了進一步證實，我們直接以不同芯數導線連接到接有燈泡的線路上，以安培計測量流過燈泡之電流值，我們得到(表八)與圖(二十二)之結果：

(表八) 不同芯數導線接觸電燈泡所流過之電流

| 導線芯數 | 通過電流(mA) |
|------|----------|
| 5 | 124.3 |
| 10 | 133.4 |
| 15 | 141.9 |
| 20 | 151.0 |
| 25 | 159.9 |



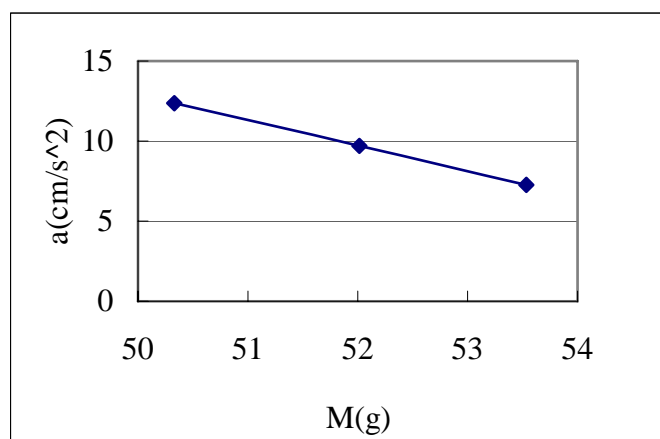
圖(二十二) 不同芯數導線接觸電燈泡所流過之電流

由此我們發現，導線芯數越多，通過電流越大，且電流變化量正比於導線芯數。而 9-1(100 芯)之結果卻無法如預期所呈現，因爲芯數太多，且較爲膨鬆，無

法完整讓每一芯的導線接觸在輪子上，以致於接觸點不如 20 芯來的多，於是在接觸點附近電阻值較大，使電流變小。使用單條粗銅導線，其接觸點太少而不易形成良好通路，加速度值約為 50 芯所測得的 1/15 而已。

2. 比較不同質量的影響：

由【實驗十】中可發現，質量越大者，加速度越小，其中因還需考慮摩擦力，且摩擦力和正向力有關，所以無法直接說明質量和加速度有反比關係。因此圖(二十三)中， M 與 a 並非呈現反比的關係。但若忽略了 f_{s1} 與 f_{s2} ，並可以得知 F_B 的大小，則應該可以符合 $F_B + f_{s3} = M \times a$ 的關係式。



圖(二十三) 整體運動質量與加速度之關係圖

3. 比較不同電流流經半徑與不同磁場大小的影響：

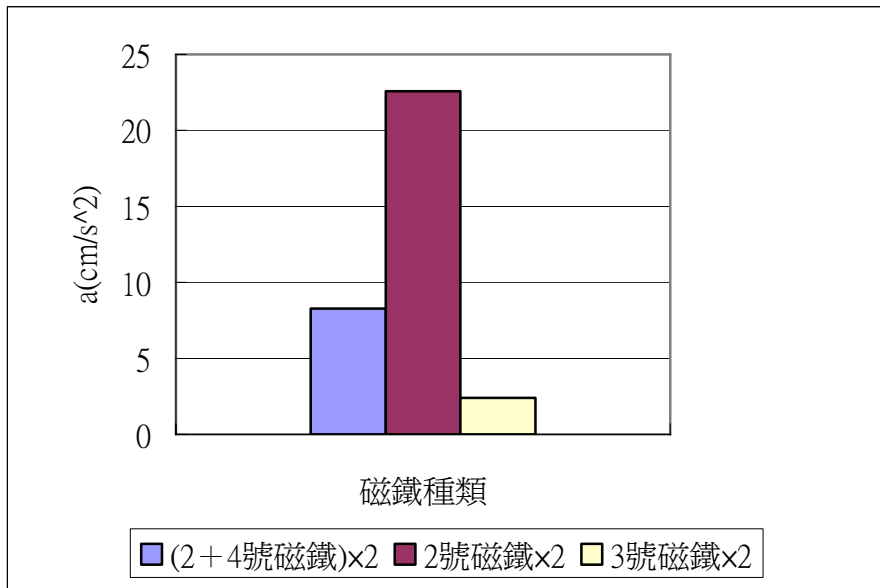
從【實驗十一】可以得到圖(二十四)，11-1 的磁場略大於 11-2，但因導線放置點不同，使 11-1 電流流經之半徑小於 11-2，11-1 中所受磁力小於 11-2，於是 11-1 加速度值相對較小。

進一步從 11-2 與 11-3 做比較，因 2 號磁鐵磁場大於 3 號磁鐵磁場，使 11-2 所受之磁力大於 11-3 所受之磁力，於是 11-2 加速度值相對較大。

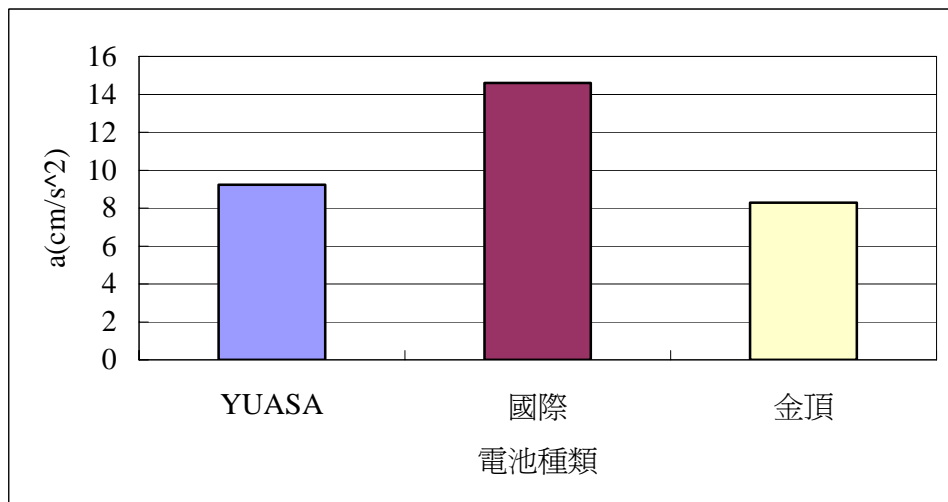
綜合上述分析可以得知，有流通電流之線段所受磁力確實與 I (電流)、 L (電流通過的長度)、 B (磁通量密度)有關。當 $I \uparrow$ ， $F_B \uparrow$ ； $L \uparrow$ ， $F_B \uparrow$ ； $B \uparrow$ ， $F_B \uparrow$ 。

4. 比較不同廠牌電池的影響：

使用不同廠牌的電池進行【實驗十二】。各廠牌的初始電池電壓不太相同，新買的國際牌電池電壓較高，整體質量也比 YUASA 較輕一些，因此有較大的加速度值。而金頂電池車的加速度值與標準裝置差異不大，唯獨電池車會有過熱的現象。而一些大陸製的電池，因外殼沒有鐵殼，無法吸住磁鐵，並不適用於此電池車的應用。



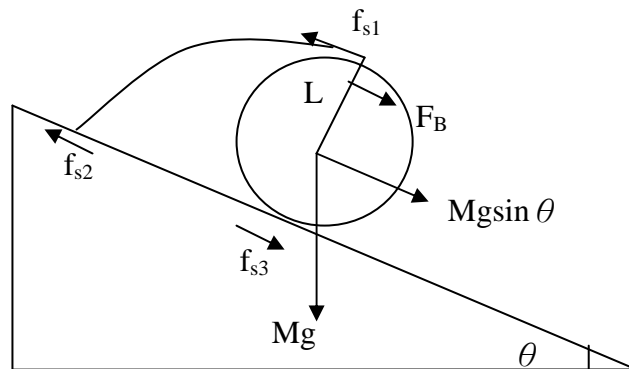
圖(二十四) 不同電流流經半徑與不同磁場大小與加速度之關係圖



圖(二十五) 不同廠牌電池與電池車加速度之關係圖

5. 斜面上的運動：

先分析裝置在斜面上的受力情形，如圖(二十六)所示。



圖(二十六) 電池車在斜面上之受力示意圖

物體沿斜面之受力情形：

$$(Mg\sin\theta \pm F_B \pm f_{s3} - f_{s2}) = M \times a$$

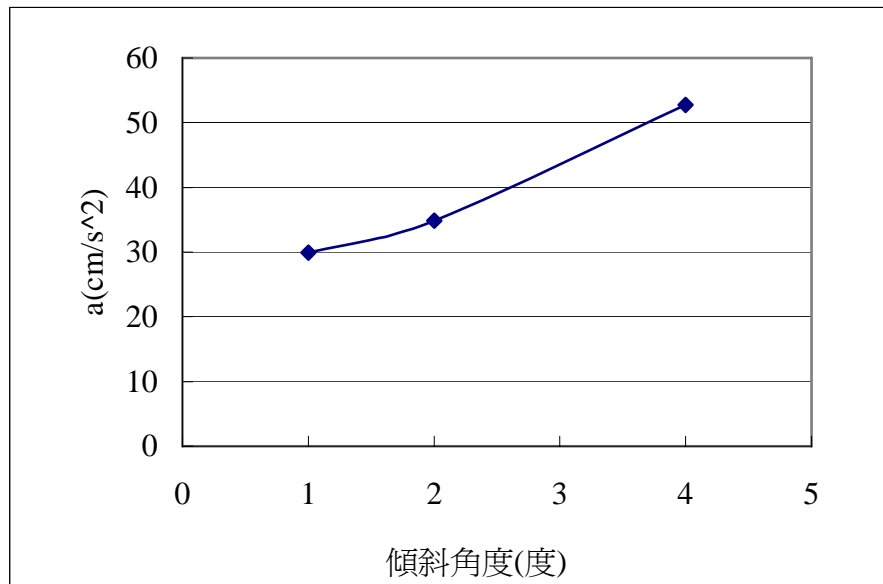
其中 f_{s3} 之方向會隨著不同運動狀態而改變，若自由下滑或 F_B 與下滑方向同向，其方向朝上， F_B 與下滑方向反向，則其方向朝下，而 F_B 方向我們可以調整改變，所以正負要視不同情況而定。

(1) 利用斜面及改變磁力方向：

由【實驗十三】我們利用有無磁力與磁力方向改變來測試對加速度的影響，結果發現外加磁力若與運動方向反向，確實有煞車的效果，讓加速度減小。而由上述之斜面受力情形與 12-1，當忽略導線的摩擦力，可以算出沿斜面摩擦力大小約為 305.82dyne。

(2) 比較斜面傾斜角度的影響：

由【實驗十三】可知，磁力皆為沿斜面朝下，改變斜面角度，發現角度越大，加速度越大，但不是和角度成正比。關係圖見圖(二十七)。



圖(二十七) 不同傾斜角度斜面運動與加速度之關係圖

四、 應用部分：

〈一〉由【實驗十三】可知，外加磁力若與運動方向反向，確實有煞車的效果，讓加速度減小。所以我們進行【實驗十四】，將此現象運用在迴力車上。我們利用泡棉將磁鐵黏在輪子的外面，利用電與磁的所產生的交互作用力與車子的運動方向相反來達到將迴力車煞車的目的。由(表七)可明顯看到，先轉動後輪四分之一圈後再放開迴力車，當有一相反作用力存在下，車子可以跑動的距離比沒有相反的作用力存在下少了許多。且加大磁場後，其位移也跟著變小，表示產生更大的煞車效果。

捌、結論

- 一、選用多芯銅絞線，跨在事先吸於電池正負極兩端的強力磁鐵上，可成功形成一可以往前滾動的電池車。
- 二、經由裝置上的改良，以AAA充電電池為電源，直徑 26 mm的圓形鐵製金屬墊片為輪子，1 號強力鉤鐵錒磁鐵吸於電池的正負極，跨上 50 芯銅絞線後，在電與磁的交互作用下可以讓電池車滾動，在玻璃面上進行加速度值約為 29.1 cm/s^2 的直線運動。
- 三、電池車在水平面上的運動實驗，在只改變導線芯數的條件下，若導線芯數越多，產生的加速度越大，表示所受磁力越大；有流通電流之線段所受磁力確實與 I (電流)、 L (電流通過的長度)、 B (磁通量密度)有關。當 $I \uparrow$ ， $F_B \uparrow$ ； $L \uparrow$ ， $F_B \uparrow$ ； $B \uparrow$ ， $F_B \uparrow$ ；不同跑道材質的實驗中發現瓦楞紙測量的加速度最大，所以摩擦力最大，玻璃次之，木板最小；單一銅導線和銅絞線相比，發現單一導線接觸點太少太不易形成良好通路，明顯加速度要小很多。銅絞線(50 芯)在類似條件下的加速度值約為單一銅導線(α)的 30 倍。
- 四、以電池車進行斜面上的運動，斜面坡度愈大，沿斜面下滑的加速度愈大，斜面摩擦力大小約為 305.82dyne；若外加磁力與運動方向反向，確實有煞車的效果，讓加速度減小。可將此運用在改裝的迴力車上，當有一相反作用力存在下，車子可以跑動的距離(34cm)比沒有相反的作用力存在下(44cm)少了許多。且我們加大磁場後，其位移也跟著變小，表示產生更大的煞車效果，可以進一步做為煞車的工具。

玖、參考資料或其他

- 一、國民中學自然與生活科技第五冊、第六冊。(民 96)。翰林出版社。
- 二、第四十八屆中小學科學展覽會，國小組自然科，誰比我更容易---挑戰極簡馬達，嘉義太保國小。
- 三、潘冠錡。好好玩物理網。<http://home.phy.ntnu.edu.tw/~haha90/>
- 四、Wikipedia維基百科，homopolar motor。(查詢日期：2009. 03.23)
http://en.wikipedia.org/wiki/Homopolar_motor
- 五、Seán M. Stewart. 2006, A SIMPLE ROLLING HOMOPOLAR MOTOR,
http://www.grand-illusions.com/articles/homopolar_roller/Stewart-homopolar-roller.pdf

【評語】 030105

- 1、主題由生活中有趣的現象觀察出發進行改良與測試優良的科學作品。
- 2、建議觀察過程變因的分析及操作可再精確。