

# 中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 物理科

第三名

040111

電磁砲

學校名稱：國立臺灣師範大學附屬高級中學

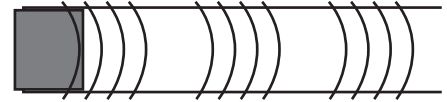
作者：  高二 葉達謙	指導老師：  葉華于
-------------------	------------------

關鍵詞：coilgun、gaussgun、電磁砲

## 摘要與簡介

線圈槍/炮指的是一種由電流通過的電磁線圈組成的直線電動機，將發射物發射出去的武器。這類武器可以將具有磁性的發射物提升到極高的速度。有時這種武器會被稱為高斯槍/炮，是為了紀念用數學方法描述電磁加速效應的卡爾·弗里德里希·高斯。

電磁炮是由一個或多個線圈，沿著槍管直線排列而組成，如右圖，線圈依次開關以確保發射物得到磁場的充分加速，就是當物體接近螺線圈時電容放電，遠離螺線圈時放電完畢。電磁炮並不是軌道炮（註1），後者會在軌道上給發射物通上強大的電流，且兩者的原理也不盡相同。第一個實用的電磁炮是由挪威物理學家克里斯蒂·安奧拉夫·伯克蘭製造和申請專利。

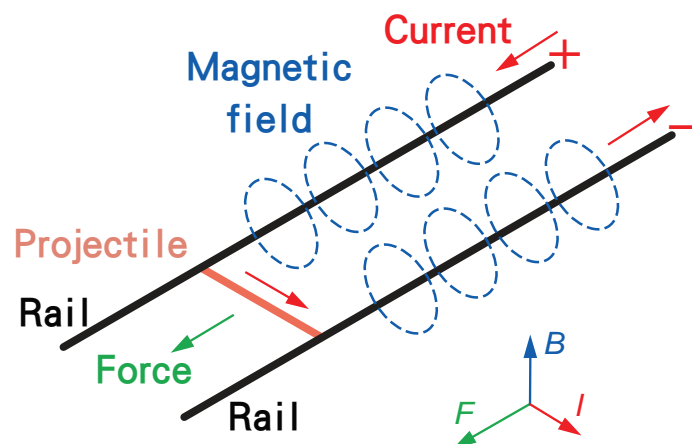


什麼是電磁炮或高斯槍？它是由一個管子加速一磁性物體。貫穿一系列電磁線圈（如電磁閥）。沒有火花或噪音和其它的副作用（如部件磨損）。經過精密的定時電路，依序激發每個線圈，這項原則可使發射體的速度迅速增加。

為什麼要建造電磁炮？它含有許多基本磁力機械的概念。電磁炮是一個簡單的直線馬達的例子，也是螺線管裡最重要的一個例子。這些螺線管看起來幾乎無處不在，從汽車門鎖到門鈴，從軟盤驅動噴射器到燃油噴射器。唯一不同的是，大多數螺線管的設計限制物體移動範圍，而且通常有一個彈簧使它彈回。

雖然電磁炮沒有工業應用，但目前有些人建議，這個系統可以用來發射在有效載荷範圍內的物體，並將之送入軌道。這是極具吸引力的，但還有許多技術上的挑戰，需要加以解決，才能被認為是可行的項目。更現實的應用例如（一）利用一個長型電磁炮加速器，來啟動車輛，並給它一個初始速度，在離開電磁炮加速器時，讓車輛啟動本身的推進器，並使之進入軌道。這種啟動模式可以大大節省燃料成本。（二）從軍事角度來看電磁炮技術可以使用在未來作戰車輛，例如，它可以設計成一種所謂的“主動電磁裝甲”系統。超高速發射仍然是軌道炮（註1）的領域，如果有再進行研究的話。它可能令你驚訝地感到，電磁炮是新鮮事。

（註1）軌道炮：



## 壹、研究動機

在一次物理專題研究的報告裡，我無意間找到一個叫高斯來福槍的東西，英文名為magnetic gun，是以磁力為推動力的發射器，便想進一步探討推進器的原理與運用。因此，我上網查了一下資料，便在youtube上找到了由Discovery: project earth所示範的一個實驗 — coil gun，一個利用通電後所產生的磁力做為推進力的發射器。看到別人可以做出如此的東西，讓我雀躍不已，便想以手邊可用的工具以及現下所學到的知識做一組coil gun，並進一步探討其原理與電容、電壓等因素對此發射器的影響。

## 貳、研究目的

- 一、了解電磁砲的原理
- 二、探討在不同電壓下，發射物與螺線管距離的關係
- 三、探討電壓與速度的關係
- 四、電容量與速度的關係
- 五、電容量與電壓的關係（1）
- 六、電容量與電壓的關係（2）
- 七、階梯形線圈所造成速度的變化

## 參、研究設備及器材

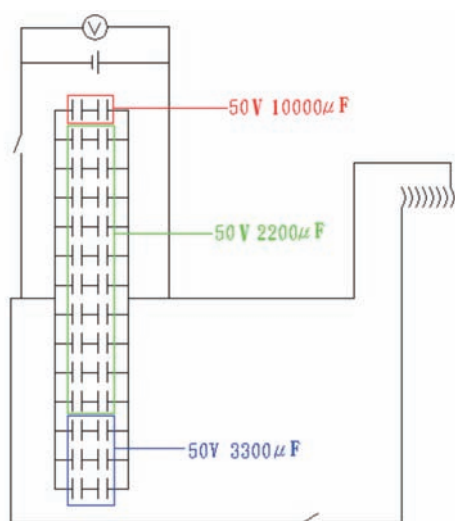
- 一、電線數條、鱷魚夾
- 二、電容（50V/2200  $\mu$ F、50V/3300  $\mu$ F、50V/10000  $\mu$ F 各數個）
- 三、底座一個、固定架與塑膠螺絲
- 四、測量棒一根
- 五、變壓器一台、檯燈一台、布幕（木頭和繪圖紙）
- 六、高速相機一台、電腦與java軟體
- 七、電錶一台、二極體
- 八、漆包線、雙面膠、螺絲釘數個（1.00cm、1.70cm）



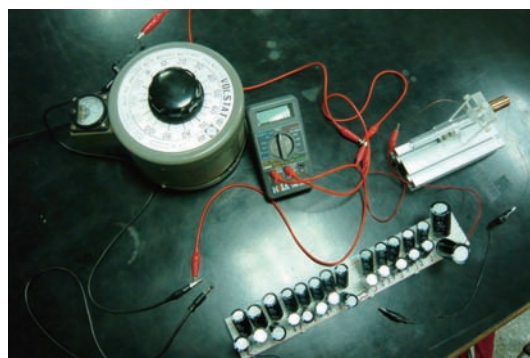
## 肆、研究過程或方法

### 一、預備實驗——實驗裝置

下圖為實驗裝置電路圖



<圖1>

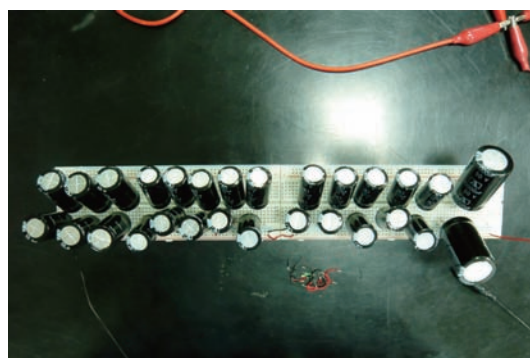


<圖2>

- (一) 先貼雙面膠，再開始用直徑為0.5mm的漆包線纏繞壓克力管，纏繞出規格為（3層，長度為1.5cm）、（3層，長度為3cm）。如（圖3）
- (二) 將規格為（50V 2200  $\mu$ F） $\times$ 20、（50V 3300  $\mu$ F） $\times$ 6、（50V 50000  $\mu$ F） $\times$ 2的電容以<圖1>的方式插上麵包板。如（圖4）
- (三) 將螺絲釘的頭以鑽石鑽針切除。
- (四) 將螺絲釘放入螺線管中以測量棒定出適當的位置。
- (五) 調整燈光與高速相機到可清楚拍攝的位置，因為是高速攝影所以需要強光，相機的ISO值也是非常重要的，ISO值影響到攝影的品質也會影響到所需燈光的強弱（ISO值愈小影像越清晰，但所需的光源越強，因為實驗器材的燈光沒那麼強，所以ISO值為1600）。
- (六) 將螺線管加上固定架並用塑膠螺絲栓緊，再接上底座。
- (七) 將變壓器接上二極體，最後接上伏特計和螺線管，這樣基本的實驗裝置就完成了。



<圖3>

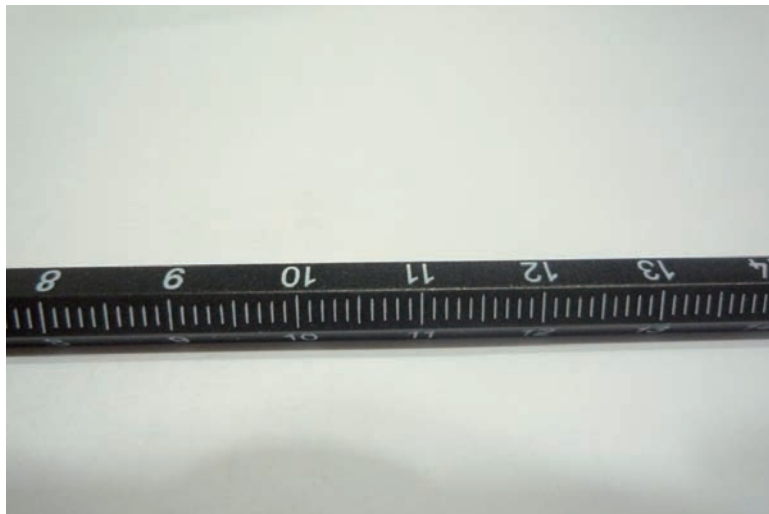


<圖4>

## 二、控制變因實驗——實驗數據的收集

### (一) 探討在不同電壓下，發射物與螺線管距離的關係

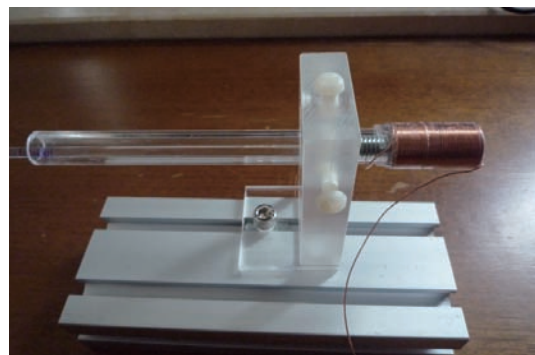
1. 記錄測量棒能使發射體剛接觸螺線管外圍的刻度（10.90cm）。
2. 將電容量調整為9900  $\mu\text{F}$ 。
3. 將變壓器接上電容充電，再以伏特器將電壓調整為60V。
4. 選取1.70cm的螺絲釘放入螺線管中，用測量棒定位螺絲釘的前端，使其在螺線管裡 6.00mm。
5. 把高速相機的焦距調好，按下錄影鍵。
6. 將電容接上螺線管（3層,3.00cm）。
7. 發射五次求平均，以減少實驗誤差。
8. 把步驟4.螺絲釘的前端位置調成（螺絲釘的前端在螺線管裡 4.00mm）、（螺絲釘的前端在螺線管裡2.00mm）、（螺絲釘的前端的位置，剛好在剛進螺線管）、（螺絲釘的前端離螺線管2.00mm）、（螺絲釘的前端離螺線管4.00mm）、（螺絲釘的前端離螺線管6.00mm）。
9. 將電壓調整為80V、100V，重複步驟1到步驟8。
10. 再將實驗數據放入tracker 裡進行分析。



<圖5>測量棒



<圖6>實驗用發射物

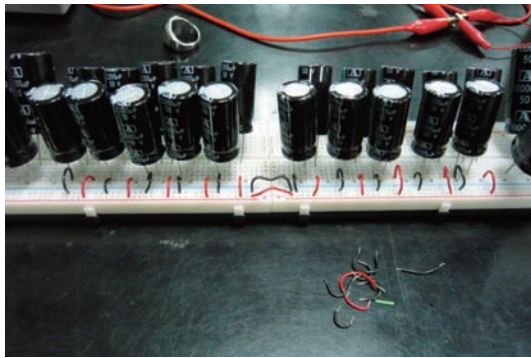


<圖7>實驗用螺線管

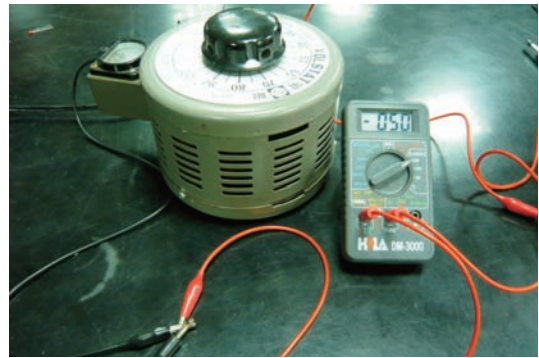


## (二) 探討電壓對速度的影響

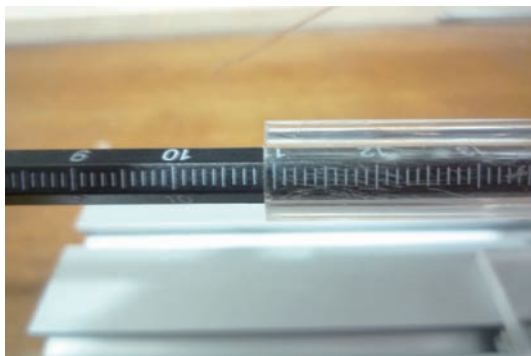
1. 將電容值調整為 $11000\ \mu\text{F}$ 。如（圖8）
2. 將變壓器接上電容充電，再以伏特器將電壓調整為 $50\text{V}$ 。如（圖9）
3. 將 $1.10\text{cm}$ 螺絲釘放入以壓克力棒定位。如（圖10）、（圖11）
4. 把高速相機的焦距調好，按下錄影鍵。
5. 將電容接上螺線管（3層,  $3\text{cm}$ ）。
6. 發射五次求平均，以減少實驗誤差。
7. 把步驟2分別改成（ $60\text{V}$ 、 $70\text{V}$ 、 $80\text{V}$ 、 $90\text{V}$ 、 $100\text{V}$ ），重複1到6的實驗。
8. 再將實驗數據放入tracker裡進行分析。



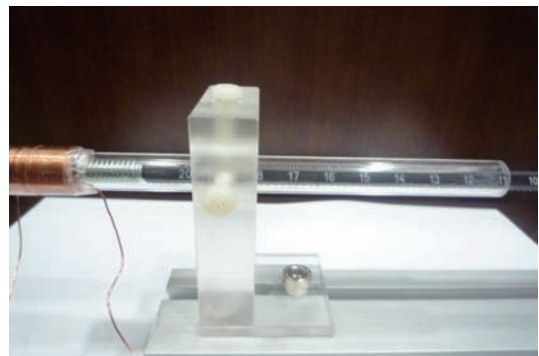
<圖8>電容值調整為 $11000\ \mu\text{F}$



<圖9>電壓調整為 $50\text{V}$



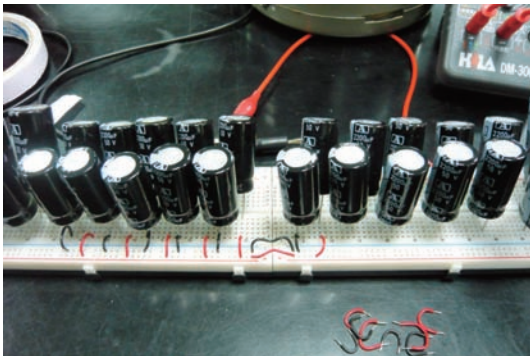
<圖10>壓克力棒定位



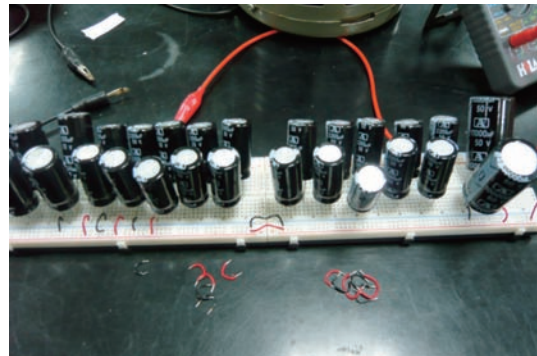
<圖11>壓克力棒定位

### (三) 電容量與速度的影響、電容量與電壓的關係 (一)

1. 將電源供應器接上電容充電，再以伏特器將電壓調整為50V。如（圖9）
2. 再把電容值調整為4400  $\mu\text{F}$ 。
3. 將1.10cm螺絲釘放入以測量棒定位。如（圖10）、（圖11）
4. 把高速相機的焦距調好，按下錄影鍵。
5. 將電容接上螺線管（3層,1.50cm）。
6. 發射五次求平均，以減少實驗誤差。
7. 把步驟2分別改成（6600  $\mu\text{F}$ 、8850  $\mu\text{F}$ 、9950  $\mu\text{F}$ 、12150  $\mu\text{F}$ 、14350  $\mu\text{F}$ 、16550  $\mu\text{F}$ ），重複1到6的實驗。例（圖12）、（圖13）
8. 將步驟一的電壓調整為60V，再將電容調為（3300  $\mu\text{F}$ 、4400  $\mu\text{F}$ 、5500  $\mu\text{F}$ 、6600  $\mu\text{F}$ 、8300  $\mu\text{F}$ 、10500  $\mu\text{F}$ 、11050  $\mu\text{F}$ ）。
9. 再將實驗數據放入tracker裡進行分析。



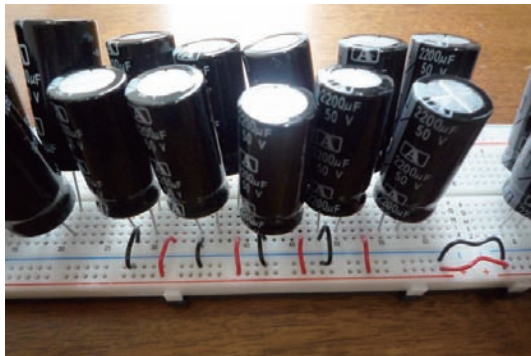
<圖12> 註：6600  $\mu\text{F}$



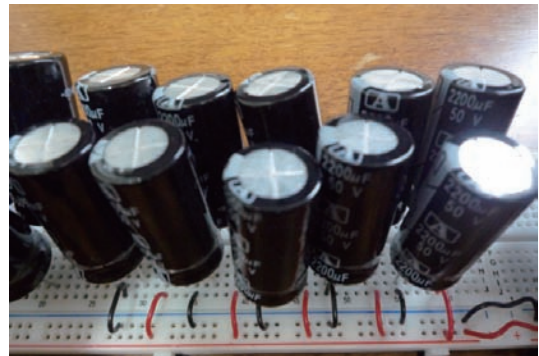
<圖13>註：8850  $\mu\text{F}$

#### (四) 電容量與電壓的關係 (二)

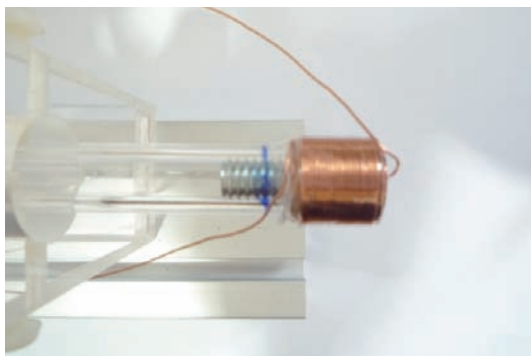
1. 將電容調整為 $4400\ \mu\text{F}$ 。如<圖14>
2. 將變壓器接上電容充電，再以伏特器將電壓調整為 $50\text{V}$ 。
3. 將 $1.10\text{cm}$ 螺絲釘（如圖<17>）放入以測量棒定位。
4. 把高速相機的焦距調好，按下錄影鍵。
5. 將電容接上螺線管（3層,  $3\text{cm}$ ）。如圖<16>
6. 發射五次求平均，以減少實驗誤差。
7. 將步驟2分別改成 $60\text{V}$ 、 $70\text{V}$ 、 $80\text{V}$ 、 $90\text{V}$ 、 $100\text{V}$ 進行1到6的實驗。
8. 當完成步驟7之後，將步驟1電容量改成 $5500\ \mu\text{F}$ 、 $6600\ \mu\text{F}$ 、 $7700\ \mu\text{F}$ 、 $8800\ \mu\text{F}$ 、 $9900\ \mu\text{F}$ 、 $11000\ \mu\text{F}$ 再進行1到6的實驗。
9. 再將實驗數據放入tracker裡進行分析。



<圖14>註： $4400\ \mu\text{F}$



<圖15>註： $5500\ \mu\text{F}$



<圖16>實驗用螺線管

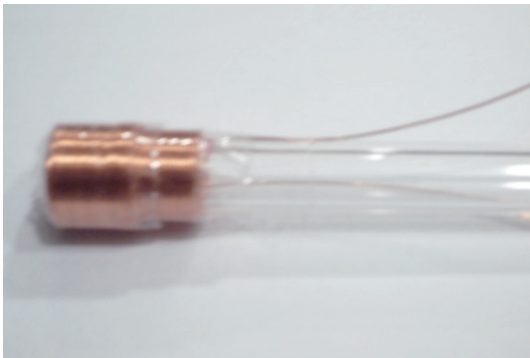


<圖17>實驗用發射物

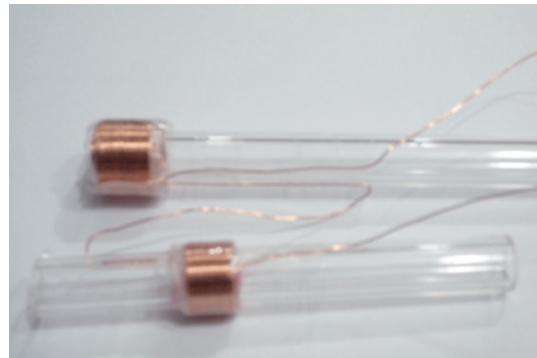


#### (五) 階梯形線圈造成速度的變化

1. 將電容調整為 $4400\ \mu\text{F}$ 。如
2. 將變壓器接上電容充電，再以伏特器將電壓調整為 $80\text{V}$ 。
3. 將 $1.10\text{cm}$ 螺絲釘入以測量棒定位。
4. 把高速相機的焦距調好，按下錄影鍵。
5. 將電容接上螺線管。
6. 發射五次求平均，以減少實驗誤差。
7. 將步驟3.的位置進行改變然後進行1.到6.的實驗。
8. 將螺線管替換，重複1.到7.的步驟。
9. 再將實驗數據放入tracker 裡進行分析。



階梯形螺線管



為了保持電阻，所設計的螺線管

## 伍、研究結果

### 一、在不同電壓下，螺絲釘所在的位置與速度的關係

#### (一) 實驗表格

##### 1. 100V時螺絲釘所在位置與速度的關係

100V	test1	test2	test3	test4	test5	平均
in 6.00mm	0m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s
in 4.00mm	3.04 m/s	1.74 m/s	1.25 m/s	2.57 m/s	3.29 m/s	2.378 m/s
in 2.00mm	3.31 m/s	3.5 m/s	1.21 m/s	3.58 m/s	4.11 m/s	3.142 m/s
middle	4.94 m/s	4.73 m/s	4.52 m/s	4.9 m/s	4.73 m/s	4.764 m/s
out 2.00mm	4.75 m/s	4.88 m/s	4.75 m/s	4.81 m/s	4.81 m/s	4.8 m/s
out 4.00mm	4.04 m/s	2.22 m/s	3.77 m/s	3.89 m/s	3.83 m/s	3.55 m/s
out 6.00mm	1.93 m/s	2.23 m/s	2.17 m/s	2.19 m/s	2.07 m/s	2.118 m/s

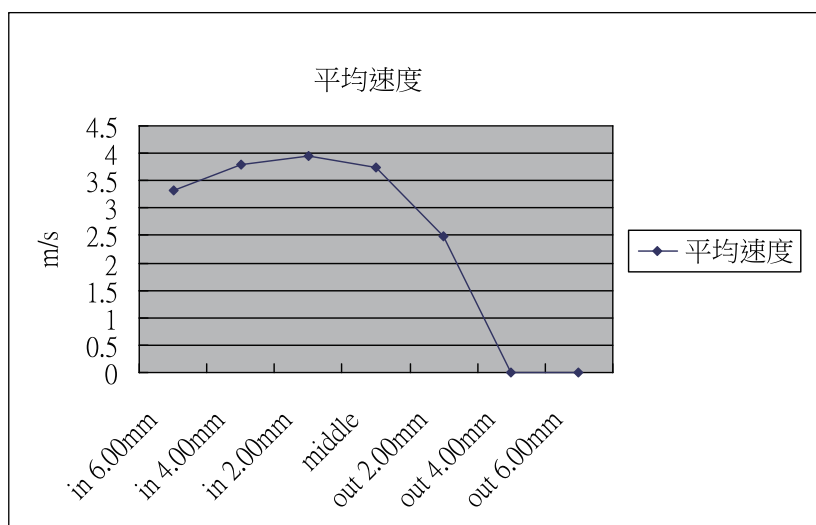
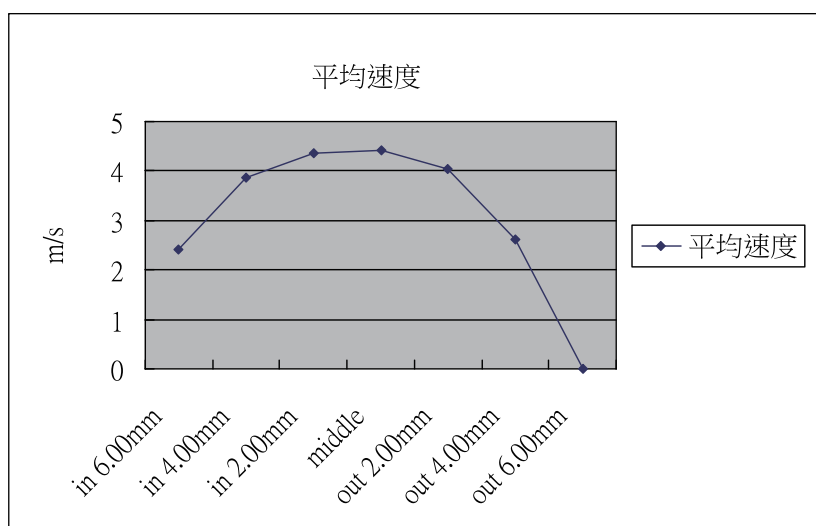
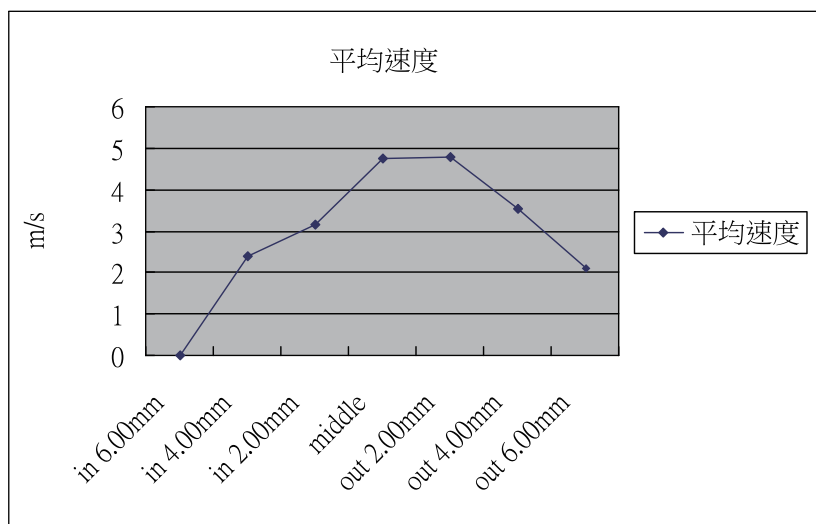
##### 2. 80V時螺絲釘所在位置與速度的關係

80V	test1	test2	test3	test4	test5	平均
in 6.00mm	2.63 m/s	2.38 m/s	2.48 m/s	2.49 m/s	2.11 m/s	2.418 m/s
in 4.00mm	3.86 m/s	3.94 m/s	3.88 m/s	3.69 m/s	3.94 m/s	3.862 m/s
in 2.00mm	4.52 m/s	4.17 m/s	4.43 m/s	4.35 m/s	4.33 m/s	4.36 m/s
middle	4.44 m/s	4.45 m/s	4.44 m/s	4.4 m/s	4.43 m/s	4.432 m/s
out 2.00mm	4.11 m/s	3.97 m/s	4.04 m/s	4 m/s	4.04 m/s	4.032 m/s
out 4.00mm	2.56 m/s	2.72 m/s	2.54 m/s	2.61 m/s	2.6 m/s	2.606 m/s
out 6.00mm	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s

##### 3. 60V時螺絲釘所在位置與速度的關係

60V	test1	test2	test3	test4	test5	平均
in 6.00mm	3.38 m/s	3.26 m/s	3.21 m/s	3.28 m/s	3.45 m/s	3.316 m/s
in 4.00mm	3.76 m/s	3.76 m/s	3.93 m/s	3.77 m/s	3.71 m/s	3.786 m/s
in 2.00mm	3.88 m/s	3.87 m/s	4.09 m/s	3.95 m/s	3.93 m/s	3.944 m/s
middle	3.81 m/s	3.75 m/s	3.7 m/s	3.72 m/s	3.72 m/s	3.74 m/s
out 2.00mm	2.71 m/s	2.41 m/s	2.24 m/s	2.49 m/s	2.57 m/s	2.484 m/s
out 4.00mm	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s
out 6.00mm	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s	0 m/s

## (二) 實驗折線圖



## 二、電壓對速度的影響

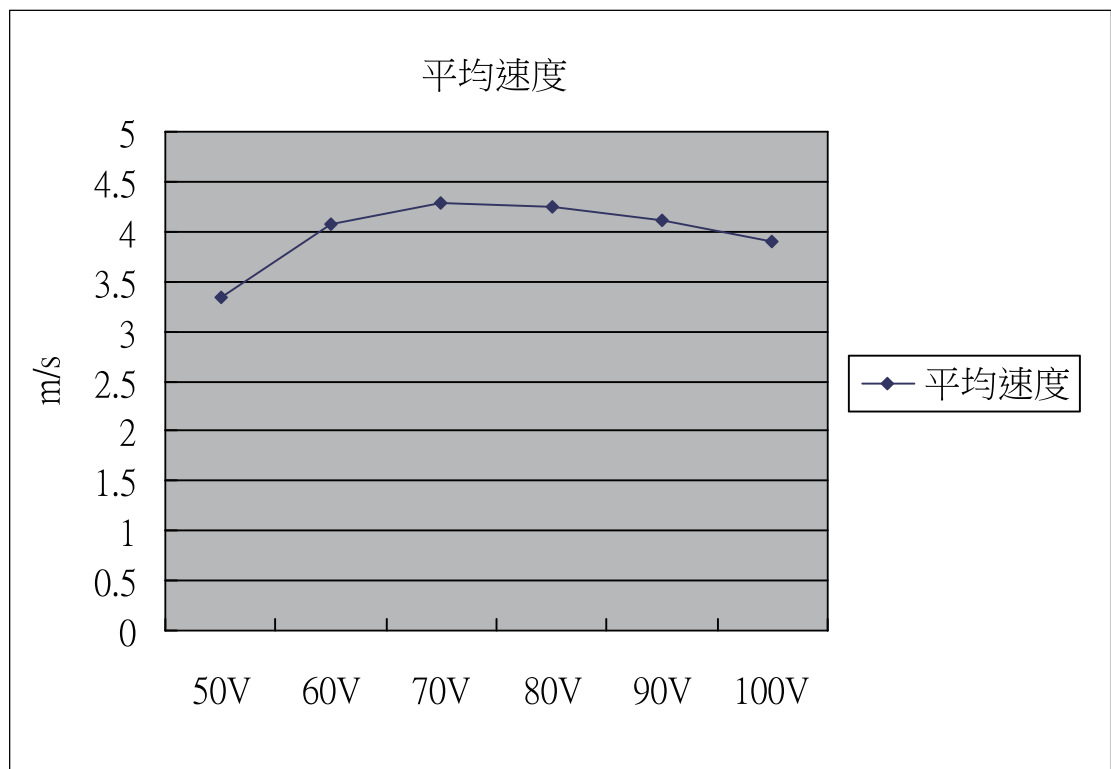
### (一) 實驗表格

在11000  $\mu$ F對不同電壓所造成的速度變化

11000 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	3.39m/s	3.36m/s	3.32m/s	3.32m/s	3.33m/s	3.344m/s
60V	4.14m/s	4.09m/s	4.04m/s	4.03m/s	4.02m/s	4.064m/s
70V	4.31m/s	4.26m/s	4.27m/s	4.27m/s	4.32m/s	4.286m/s
80V	4.24m/s	4.30m/s	4.34m/s	4.22m/s	4.13m/s	4.246m/s
90V	4.03m/s	4.20m/s	4.14m/s	4.23m/s	3.92m/s	4.104m/s
100V	3.89m/s	3.75m/s	4.02m/s	3.85m/s	3.96m/s	3.894m/s

### (二) 實驗圖表

在11000  $\mu$ F對不同電壓所造成的速度變化圖





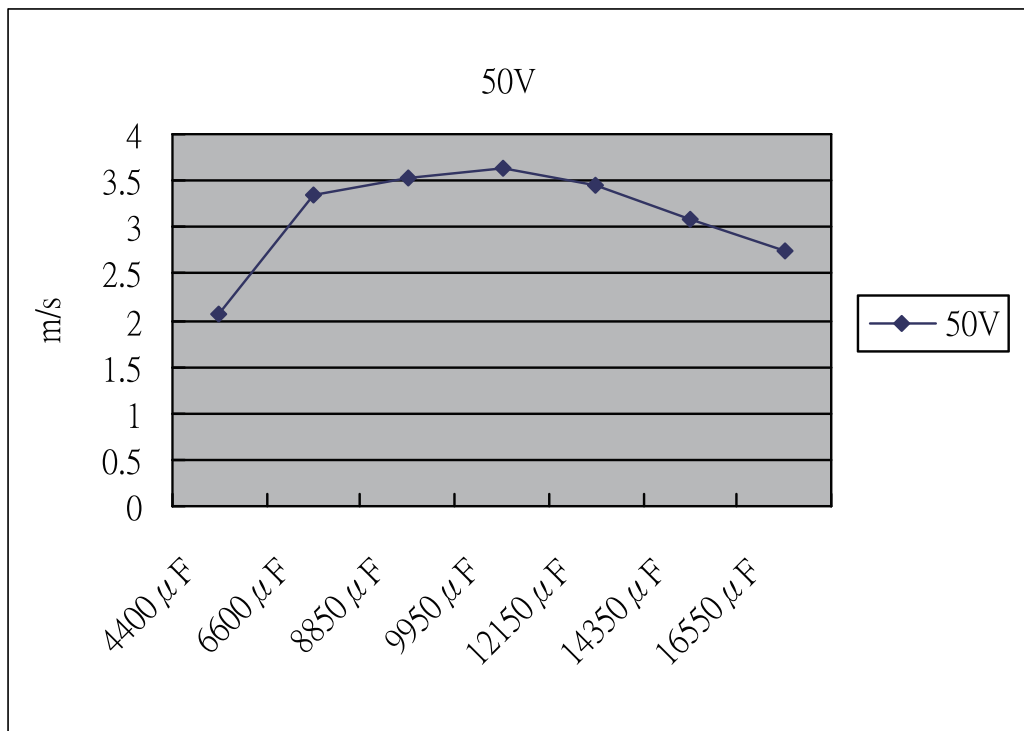
### 三、電容量與速度的關係

#### (一) 實驗表格

50V下電容量與速度關係表

50V	test1	test2	test3	test4	test5	平均
4400 $\mu$ F	1.89m/s	1.84m/s	2.16m/s	2.32m/s	2.16m/s	2.074m/s
6600 $\mu$ F	3.41m/s	3.31m/s	3.49m/s	3.28m/s	3.27m/s	3.352m/s
8850 $\mu$ F	3.53m/s	3.34m/s	3.65m/s	3.59m/s	3.50m/s	3.522m/s
9950 $\mu$ F	3.69m/s	3.64m/s	3.63m/s	3.62m/s	3.61m/s	3.638m/s
12150 $\mu$ F	3.42m/s	3.39m/s	3.41m/s	3.52m/s	3.47m/s	3.442m/s
14350 $\mu$ F	2.85m/s	3.19m/s	3.17m/s	3.13m/s	3.08m/s	3.084m/s
16550 $\mu$ F	2.77m/s	2.85m/s	2.66m/s	2.62m/s	2.84m/s	2.748m/s

#### (二) 實驗圖表



#### 四、電容量與電壓的關係（1）

##### （一）實驗表格

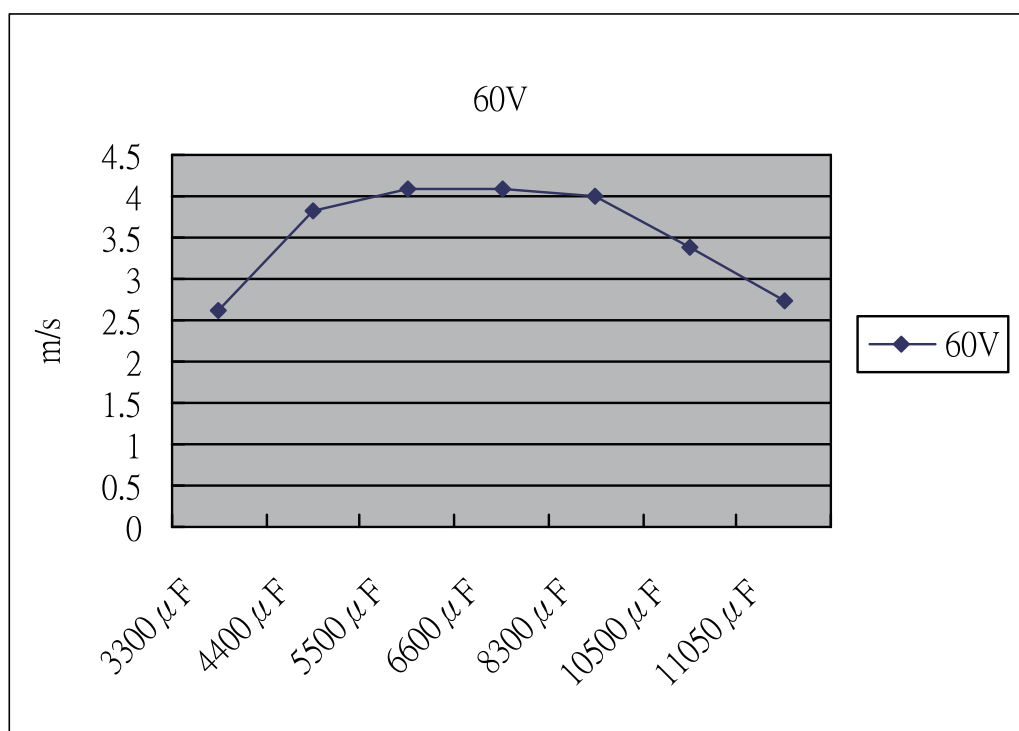
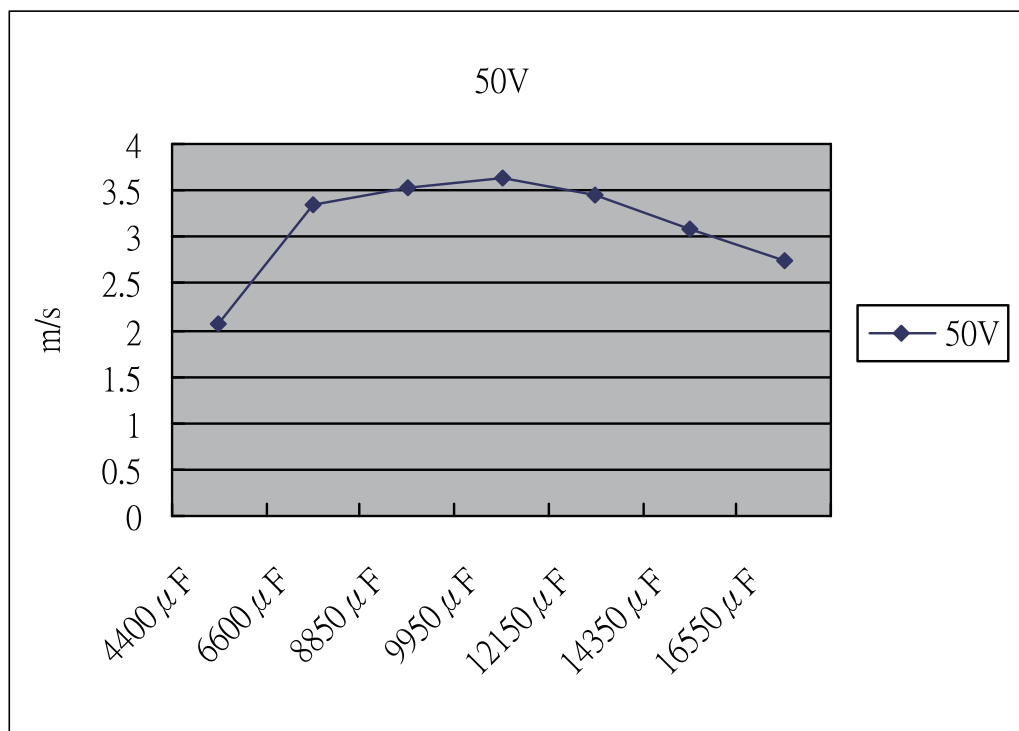
###### 1. 50V下電容量與速度關係表

50V	test1	test2	test3	test4	test5	平均
4400 $\mu$ F	1.89m/s	1.84m/s	2.16m/s	2.32m/s	2.16m/s	2.074m/s
6600 $\mu$ F	3.41m/s	3.31m/s	3.49m/s	3.28m/s	3.27m/s	3.352m/s
8850 $\mu$ F	3.53m/s	3.34m/s	3.65m/s	3.59m/s	3.50m/s	3.522m/s
9950 $\mu$ F	3.69m/s	3.64m/s	3.63m/s	3.62m/s	3.61m/s	3.638m/s
12150 $\mu$ F	3.42m/s	3.39m/s	3.41m/s	3.52m/s	3.47m/s	3.442m/s
14350 $\mu$ F	2.85m/s	3.19m/s	3.17m/s	3.13m/s	3.08m/s	3.084m/s
16550 $\mu$ F	2.77m/s	2.85m/s	2.66m/s	2.62m/s	2.84m/s	2.748m/s

###### 2. 60V下電容量與速度關係表

60V	test1	test2	test3	test4	test5	平均
3300 $\mu$ F	2.65m/s	2.59m/s	2.57m/s	2.63m/s	2.59m/s	2.606m/s
4400 $\mu$ F	3.78m/s	3.85m/s	3.79m/s	3.88m/s	3.75m/s	3.81m/s
5500 $\mu$ F	4.31m/s	4.17m/s	3.98m/s	3.89m/s	4.07m/s	4.084m/s
6600 $\mu$ F	4.01m/s	4.14m/s	4.11m/s	4.03m/s	4.11m/s	4.08m/s
8300 $\mu$ F	4.06m/s	4.07m/s	4.01m/s	4.02m/s	3.91m/s	4.014m/s
10500 $\mu$ F	3.00m/s	3.59m/s	3.71m/s	3.50m/s	3.18m/s	3.396m/s
11050 $\mu$ F	2.59m/s	2.77m/s	2.81m/s	2.51m/s	3.04m/s	2.744m/s

## (二) 實驗圖表



## 五、電容量與電壓的關係（2）

### （一）實驗表格

#### 1. 在11000 $\mu$ F對不同電壓所造成的速度變化

11000 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	3.39m/s	3.36m/s	3.32m/s	3.32m/s	3.33m/s	3.344m/s
60V	4.14m/s	4.09m/s	4.04m/s	4.03m/s	4.02m/s	4.064m/s
70V	4.31m/s	4.26m/s	4.27m/s	4.27m/s	4.32m/s	4.286m/s
80V	4.24m/s	4.30m/s	4.34m/s	4.22m/s	4.13m/s	4.246m/s
90V	4.03m/s	4.20m/s	4.14m/s	4.23m/s	3.92m/s	4.104m/s
100V	3.89m/s	3.75m/s	4.02m/s	3.85m/s	3.96m/s	3.894m/s

#### 2. 在9900 $\mu$ F對不同電壓所造成的速度變化

9900 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	3.46m/s	3.47m/s	3.41m/s	3.51m/s	3.43m/s	3.456m/s
60V	4.01m/s	4.01m/s	4.06m/s	4.03m/s	3.86m/s	3.994m/s
70V	4.40m/s	4.31m/s	4.35m/s	4.32m/s	4.35m/s	4.346m/s
80V	4.54m/s	4.58m/s	4.63m/s	4.46m/s	4.42m/s	4.526m/s
90V	4.80m/s	4.63m/s	4.68m/s	4.6m/s	4.66m/s	4.674m/s
100V	4.84m/s	4.65m/s	4.84m/s	4.81m/s	4.67m/s	4.762m/s

#### 3. 在8800 $\mu$ F對不同電壓所造成的速度變化

8800 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	3.31m/s	3.34m/s	3.31m/s	3.23m/s	3.31m/s	3.30m/s
60V	3.89m/s	3.91m/s	3.9m/s	3.89m/s	3.89m/s	3.896m/s
70V	4.43m/s	4.43m/s	4.43m/s	4.41m/s	4.42m/s	4.424m/s
80V	4.61m/s	4.55m/s	4.7m/s	4.67m/s	4.67m/s	4.64m/s
90V	5.02m/s	5.15m/s	5.1m/s	5.06m/s	4.87m/s	5.04m/s
100V	5.04m/s	5.04m/s	5.06m/s	4.95m/s	4.99m/s	5.016m/s

#### 4. 在7700 $\mu$ F對不同電壓所造成的速度變化

7700 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	3.01m/s	3.29m/s	3.21m/s	3.08m/s	3.07m/s	3.132m/s
60V	3.72m/s	3.76m/s	3.76m/s	3.71m/s	3.75m/s	3.74m/s
70V	4.70m/s	4.68m/s	4.59m/s	4.64m/s	4.64m/s	4.65m/s
80V	5.02m/s	4.93m/s	4.92m/s	4.98m/s	4.85m/s	4.94m/s
90V	5.45m/s	5.44m/s	5.45m/s	5.35m/s	5.46m/s	5.43m/s
100V	5.44m/s	5.45m/s	5.66m/s	5.65m/s	5.50m/s	5.54m/s



5. 在6600  $\mu$  F對不同電壓所造成的速度變化

6600 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	2.72m/s	2.82m/s	2.75m/s	2.75m/s	2.72m/s	2.752m/s
60V	3.66m/s	3.66m/s	3.69m/s	3.63m/s	3.67m/s	3.662m/s
70V	4.40m/s	4.40/ms	4.45m/s	4.33m/s	4.39m/s	4.394m/s
80V	5.07m/s	5.04m/s	5.02m/s	5.07m/s	4.93m/s	5.026m/s
90V	5.54m/s	5.52m/s	5.54m/s	5.49m/s	5.52m/s	5.522m/s
100V	5.77m/s	5.72m/s	5.82m/s	5.77m/s	5.58m/s	5.732m/s

6. 在5500  $\mu$  F對不同電壓所造成的速度變化

5500 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50V	2.08m/s	2.02m/s	1.93m/s	1.90m/s	1.87m/s	1.96m/s
60V	3.18m/s	2.95m/s	3.27m/s	2.98m/s	2.92m/s	3.06m/s
70V	4.07m/s	4.00m/s	3.99m/s	3.90m/s	3.91m/s	3.974m/s
80V	4.87m/s	4.7m/s	4.96m/s	4.74m/s	4.72m/s	4.798m/s
90V	5.74m/s	5.76m/s	5.58m/s	5.68m/s	5.63m/s	5.678m/s
100V	6.25m/s	6.1m/s	6.12m/s	6.30m/s	6.08m/s	6.17m/s

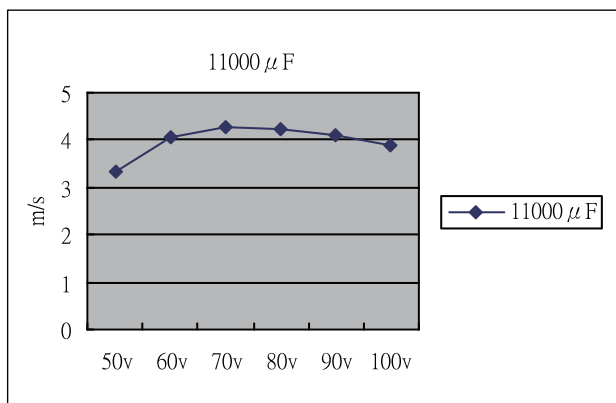
7. 在4400  $\mu$  F對不同電壓所造成的速度變化

4400 $\mu$ F	test1	test2	test3	test4	test5	平均
50v	1.19m/s	1.04m/s	1.18m/s	1.32m/s	1.46m/s	1.238m/s
60v	1.91m/s	2.07m/s	2.07m/s	1.97m/s	2.01m/s	2.006m/s
70v	2.85m/s	3.07m/s	2.9m/s	2.97m/s	3.1m/s	2.978m/s
80v	4.29m/s	4.15m/s	4.33m/s	4.02m/s	4.19m/s	4.196m/s
90v	5.42m/s	5.25m/s	5.32m/s	5.31m/s	5.35m/s	5.33m/s
100v	6.21m/s	6.17m/s	6.21m/s	6.22m/s	6.16m/s	6.194m/s

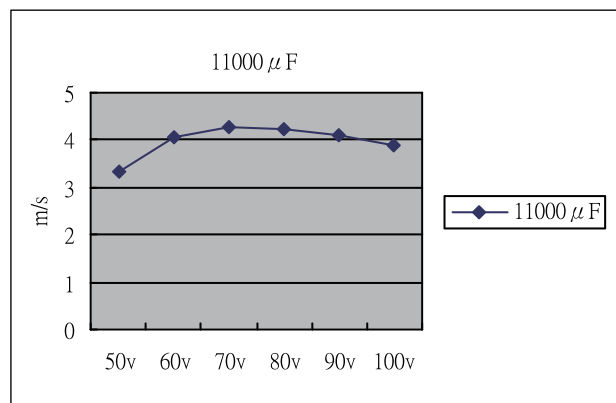
8. 將（一）到（七）的數據整理後的表格

	50V	60V	70V	80V	90V	100V
4400 $\mu$ F	1.238m/s	2.006m/s	2.978m/s	4.196m/s	5.33m/s	6.194m/s
5500 $\mu$ F	1.96m/s	3.06m/s	3.974m/s	4.798m/s	5.678m/s	6.17m/s
6600 $\mu$ F	2.752m/s	3.662m/s	4.394m/s	5.026m/s	5.522m/s	5.732m/s
7700 $\mu$ F	3.132m/s	3.74m/s	4.65m/s	4.94m/s	5.43m/s	5.54m/s
8800 $\mu$ F	3.30m/s	3.896m/s	4.424m/s	4.64m/s	5.04m/s	5.016m/s
9900 $\mu$ F	3.456m/s	3.994m/s	4.346m/s	4.526m/s	4.674m/s	4.762m/s
11000 $\mu$ F	3.344m/s	4.064m/s	4.286m/s	4.244m/s	4.104m/s	3.894m/s

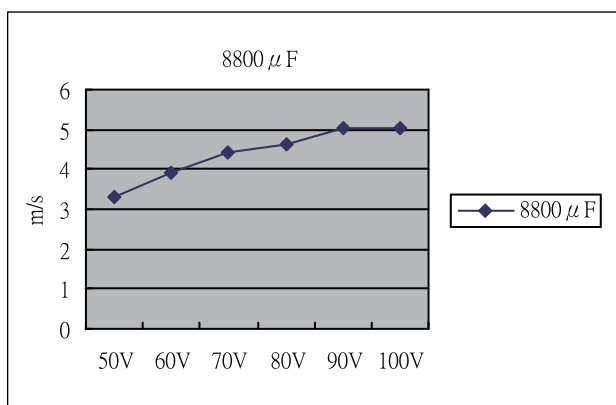
## (二) 各次實驗的折線圖



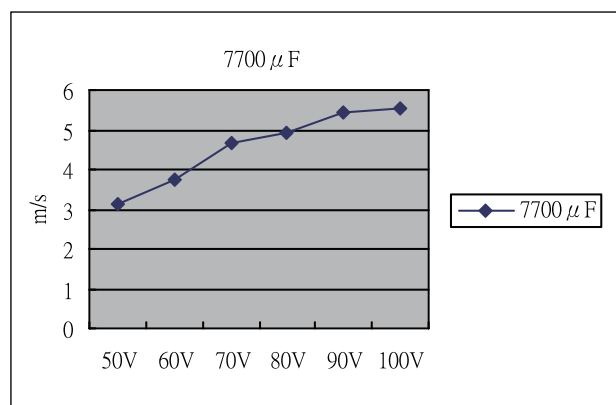
11000  $\mu$ F 下的速度變化



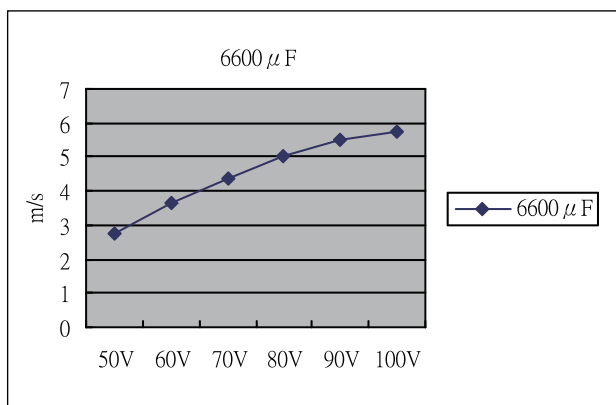
9900  $\mu$ F 下的速度變化



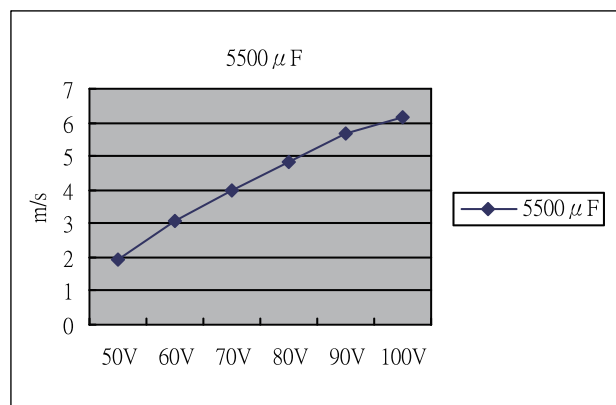
8800  $\mu$ F 下的速度變化



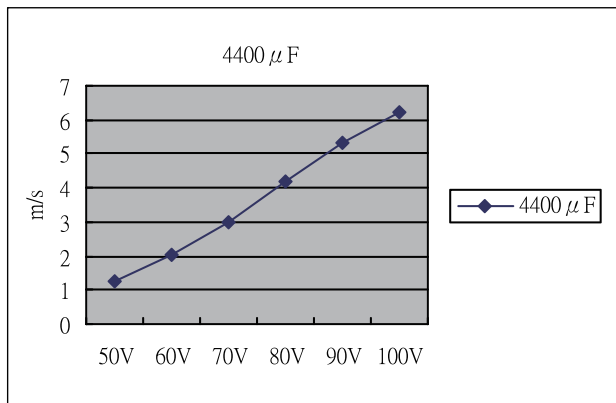
7700  $\mu$ F 下的速度變化



6600  $\mu$ F 下的速度變化

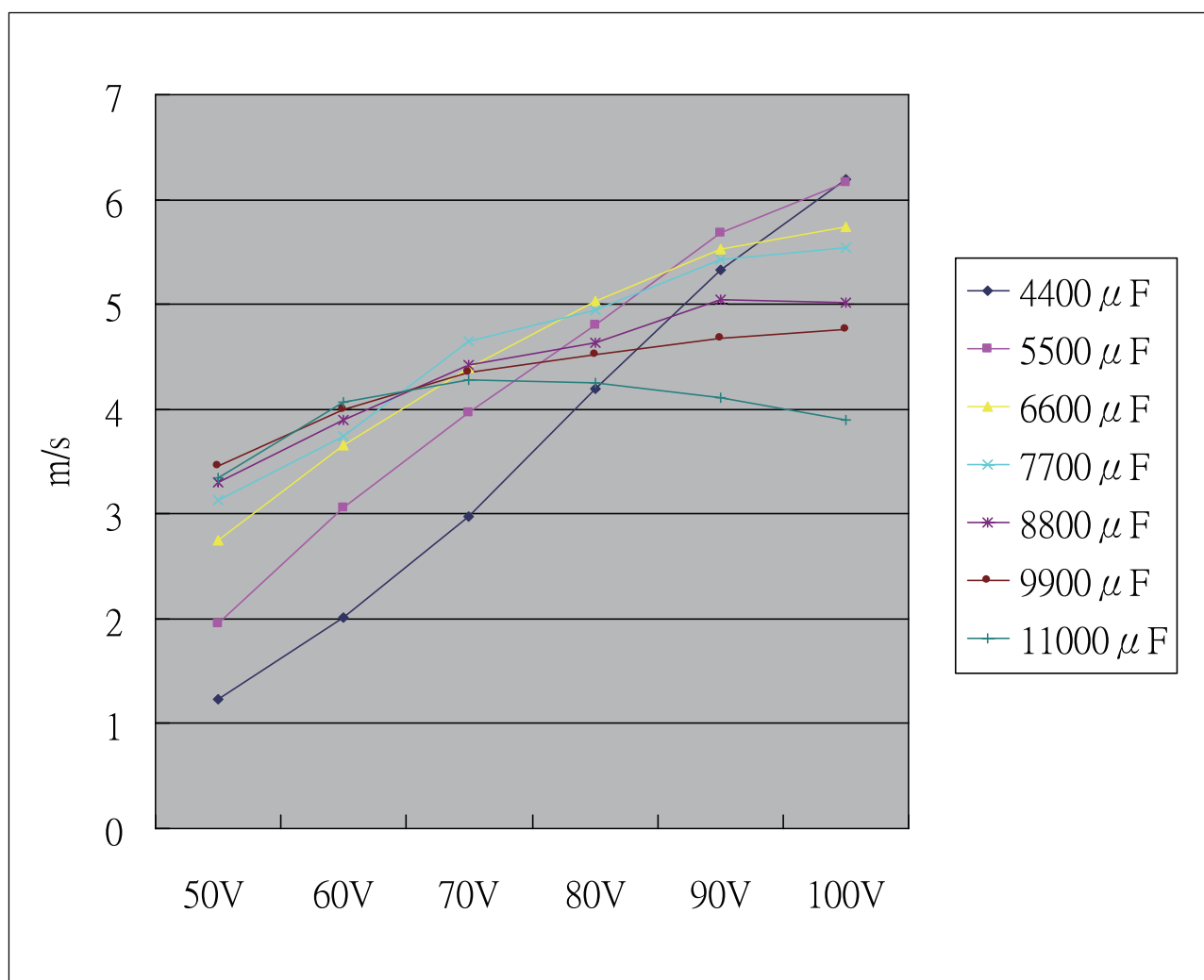


5500  $\mu$ F 下的速度變化



4400  $\mu$ F 下的速度變化

不同電容量在不同電壓對速度的總圖



## 六、階梯形線圈所造成速度的變化

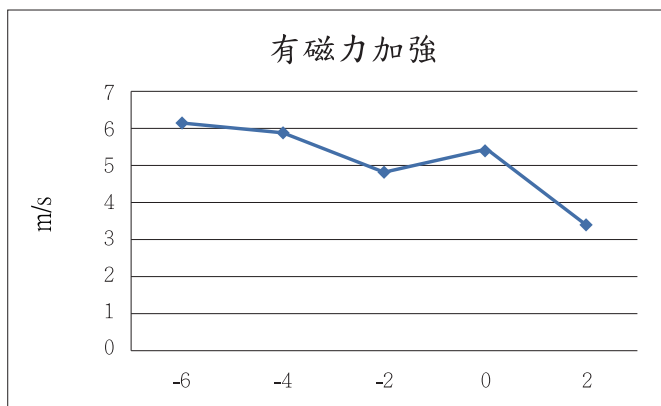
### (一) 實驗表格

階梯形螺線管	test1	test2	test3	test4	test5	
-6	6.05	6.16	6.06	6.15	6.21	6.126
-4	5.71	5.99	5.9	6.01	5.84	5.89
-2	4.38	4.8	4.92	5.07	4.98	4.83
0	5.18	5.46	5.55	5.41	5.41	5.402
2	3.51	3.39	3.23	3.5	3.39	3.404

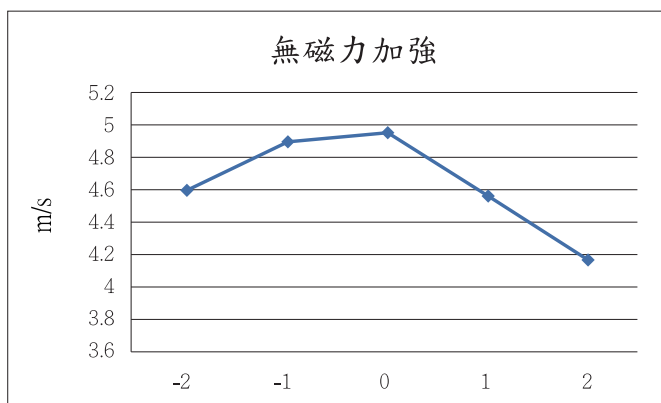
無變化螺線管	test1	test2	test3	test4	test5	
-2	4.56	4.6	4.6	4.57	4.65	4.596
-1	4.97	4.96	4.87	4.84	4.86	4.9
0	4.98	5.03	4.89	4.99	4.91	4.96
1	4.61	4.6	4.51	4.53	4.61	4.572
2	4.22	4.2	4.16	4.11	4.17	4.172

### (二) 各次實驗的折線圖

階梯形螺線管



無變化螺線管



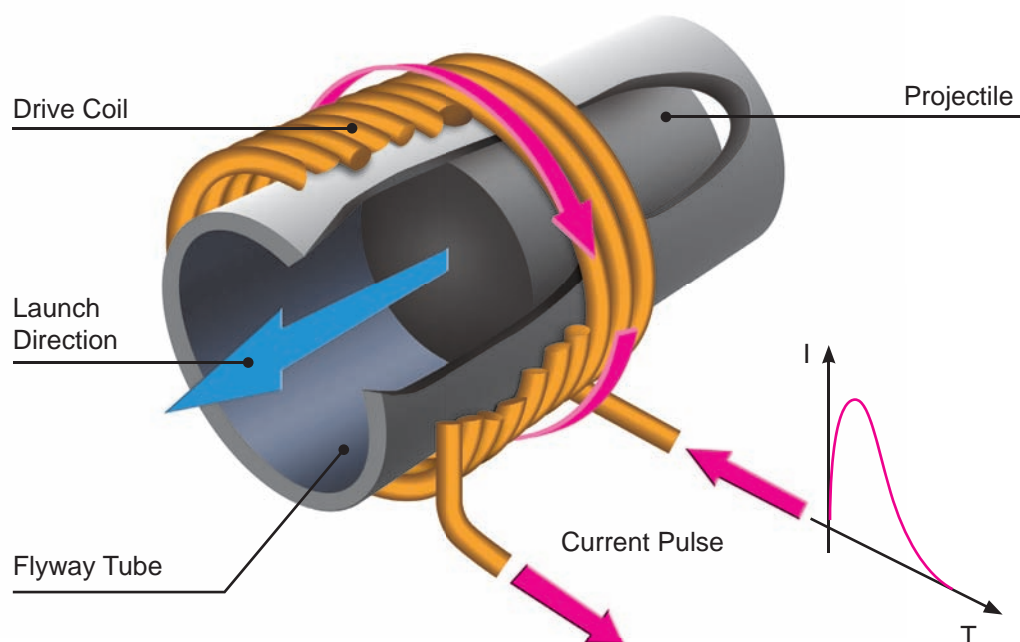


## 陸、討論

### 一、電磁砲的工作原理

簡單來說，其實就是以磁力推動的發射裝置，如下圖

SIMPLE RELUCTANCE LAUNCHER

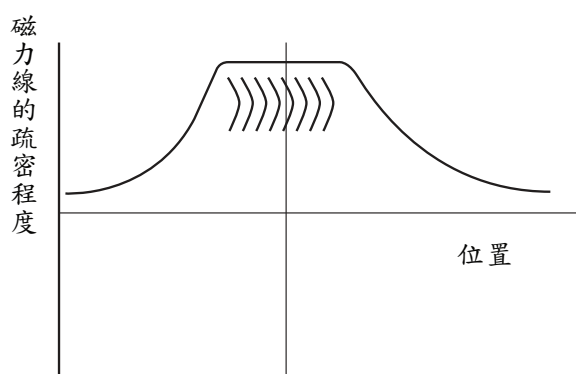


### 二、穩定電源供電和電容放電

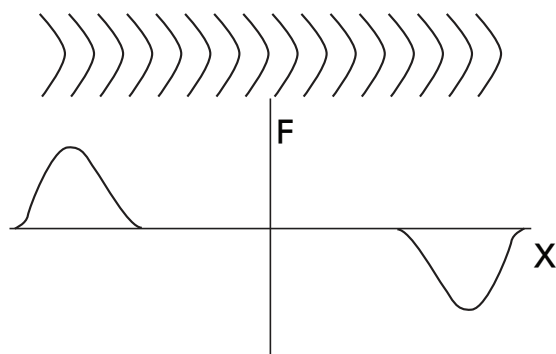
#### (一) 穩定電源供電

以下為持續供電的情況下

在螺線管裡的磁力線疏密程度如下圖



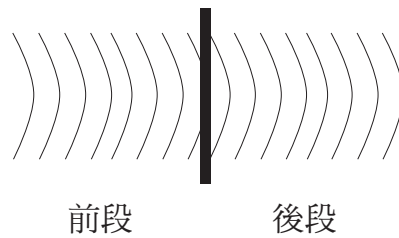
其受力的模式如下圖



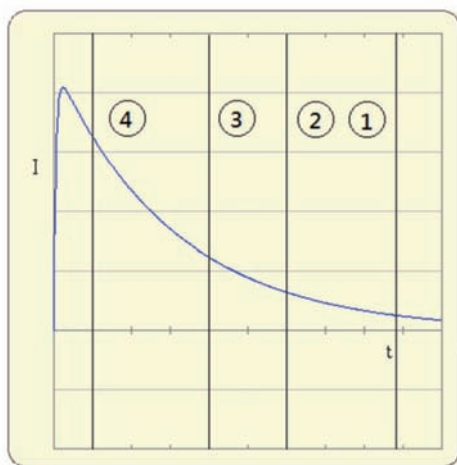
## (二) 電容供電

如果是電容供電則可能會發生兩種事情

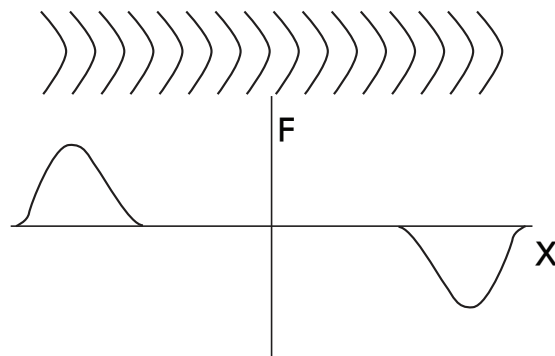
我們可以粗略的由螺線管的中心分成前段與後段



前段屬於加速，後段屬於減速，也就是說這兩段的力是相反的，右上圖，前段會想將物體往右拉，後段則想將物體往左拉，<圖18>為電路放電的模式，直線為物體到達螺線管中心的時間。此圖也可看成加速區和減速區的衝量變化。1、2、3、4號的好壞，是不一定的，但是會有先使速度上升後下降的趨勢。

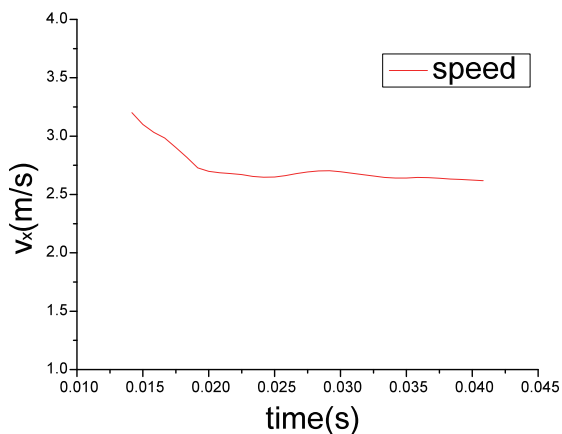


<圖18>

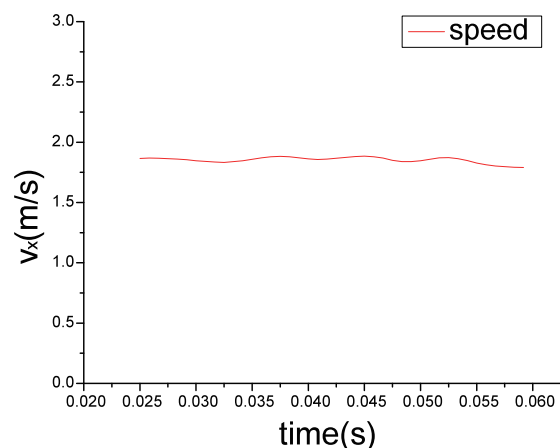


<圖19>

接著我們來看出管後的情形，由<圖19>可看出受力集中在左、右兩端，只要減速區的回拉力越小則速度可越快，如<圖20>很明顯的物體在出管時有被往回拉的趨勢，而<圖21>則無受回拉力的影響。



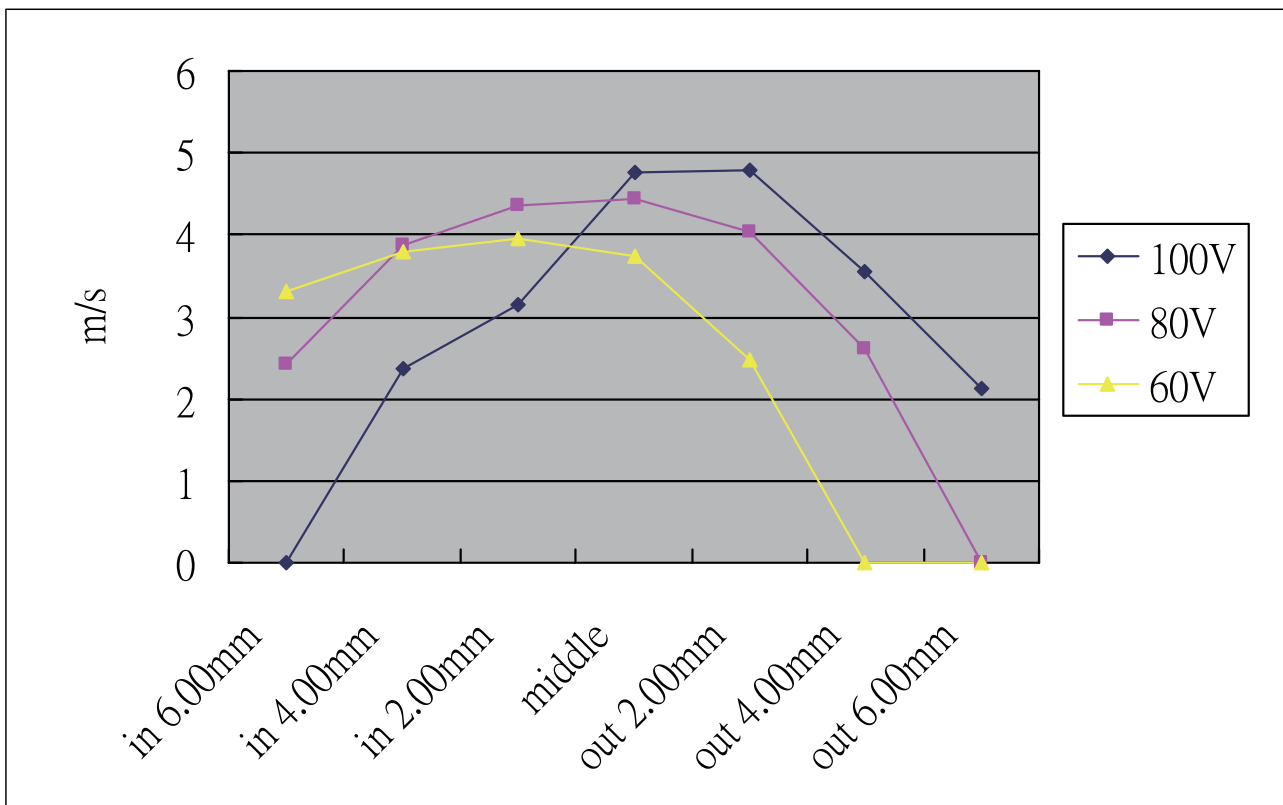
<圖20>物體在出管時，有受回拉力的影響



<圖21>物體在出管時，無受回拉力的影響

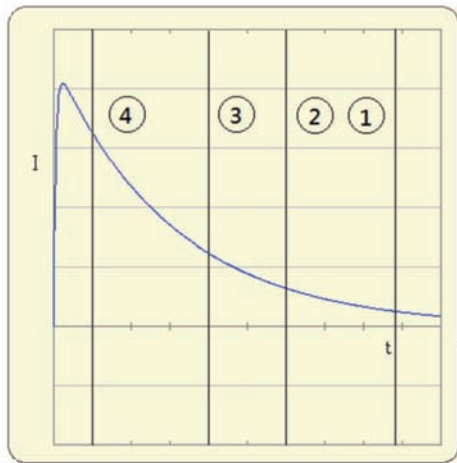
### 三、螺絲釘所在的位置與速度的關係

實驗圖表（在 $9900\mu F$ 下，螺絲釘所在的位置與速度的關係）

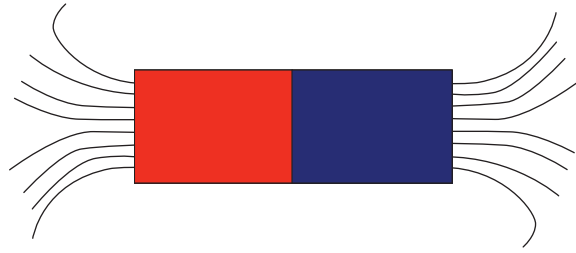


<圖22>

### (三) 討論



<圖23>



<圖24>

- ▲ 單看100v可知道在middle和out 2.00mm的地方能使速度達到最大，就可能像左上圖（圖23）的（2）號一樣，雖然作用在加速區的功比（1）號小，但因為距離近所以速度較快，（3）、（4）號，減速區的影響力越來越大，而最後可能就像in 6.00mm一樣出不了管；如果越往外面放，雖然不會受到減速區的影響，但磁力線越弱。（圖24）
- ▲ 由<圖22>可發現在電壓上升時能造成最高速度的位置一直往外移，因為同螺線管和同電容量時，電容放電要到達峰值的時間是一樣的，但因為依然受到電壓高低的影響，所以可以造成最大速度的位置將往後移，因為避免減速區；但後移的趨勢會慢慢減小，因為磁力線的密度越往外，會急遽的下降，相信最後會有一極值。
- ▲ 注意到在60V時是in 2.00mm的時候速度最快，但以受力區的減少推論middle應該會比in 2.00m來得快，經過進一步的推論是因為發射物進入磁場會被磁化，而造成in 2.00mm比middle時來的快些。

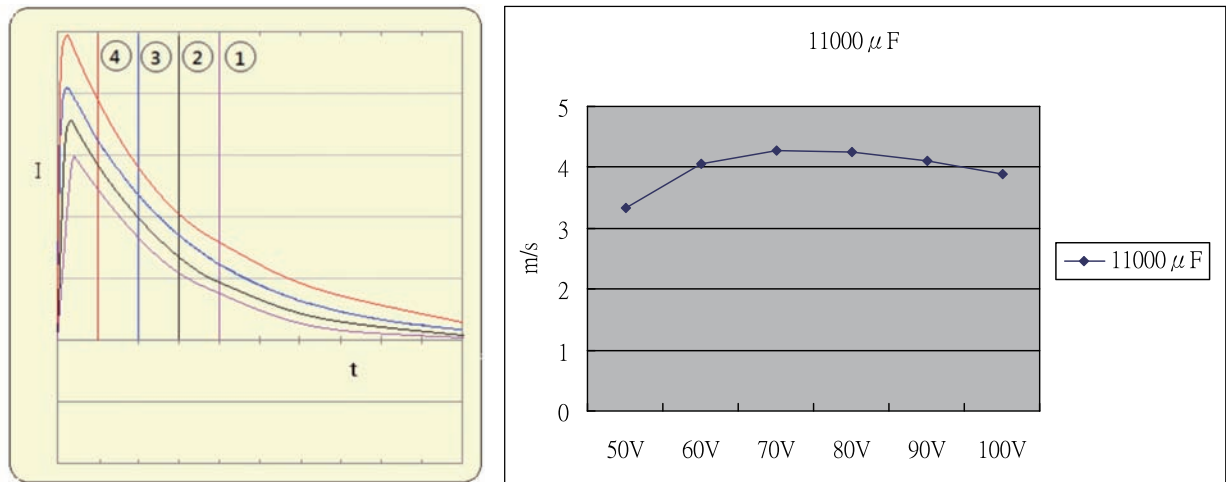
#### <由此得知的結論>

- ▲ 電壓越高時，要使速度最快的位置，將後移，但考慮但磁力線分布，所以會有它的極值，且距離增加越來越少。
- ▲ 當最大速度發生在管內，代表有受磁化。



#### 四、電壓對速度的影響

##### 討論



- ▲ 左上圖的曲線對應到相同顏色的直線，電壓由低而高之變化圖；而1、2、3、4、所代表之情形是隨電壓的上升，因為所受的衝量的變化量越大，越快達到減速區，所以直線左端的加速區越小，所以直線跟著往左。
- ▲ 由右上圖可知，由50V到70V時速度漸增但斜率越來越小，而70V到100V時速度漸弱。因為 $B=\mu_0 n I$  又 $V=IR$ ， $V$ 可以說是控制力量的因素，又由 $Q=CV$ 、 $V=IR$ 、 $Q=I \cdot t$ 可知各電壓放電時間一樣，影響此實驗的變因為電壓；電壓越大，所受的力越大；雖然所受的力越大，使物體速度變快，但也因此越快往減速區移動，如左上圖就可得知從50V到70V時是加速的時候，就像左上圖從（1）號到（3）號出管的速度上升的越來越少，在70V的情況下就已達到最快的速度，最後70V到100V因為其所加的速度太快了，就越快到達減速區就會發生類似（4）號的情形而減速。

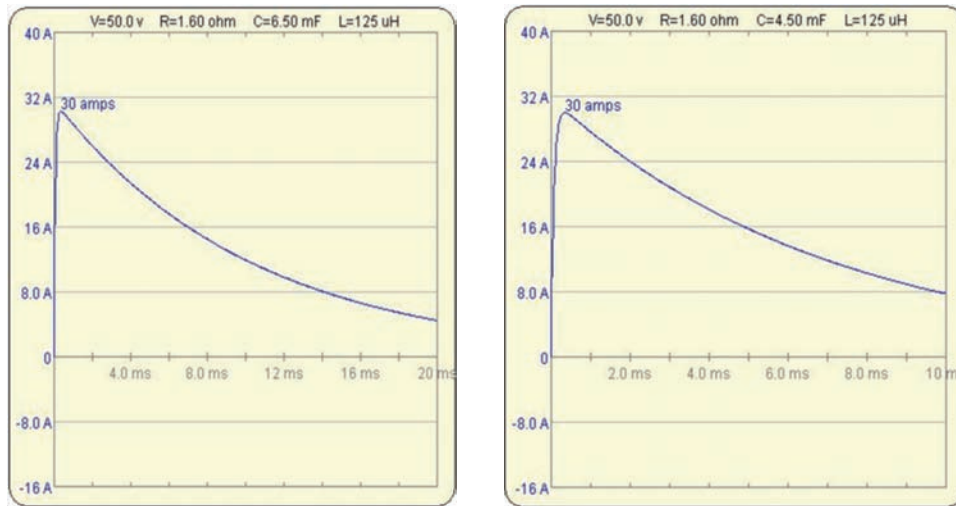
<由此得知的結論>

- ▲ 在同電容量和螺線管時，其中會有一電壓能造成的速度為最大；因為同電容量時，到達峰值的時間不變，放電的模式差不多，差別只在於電壓的高低。

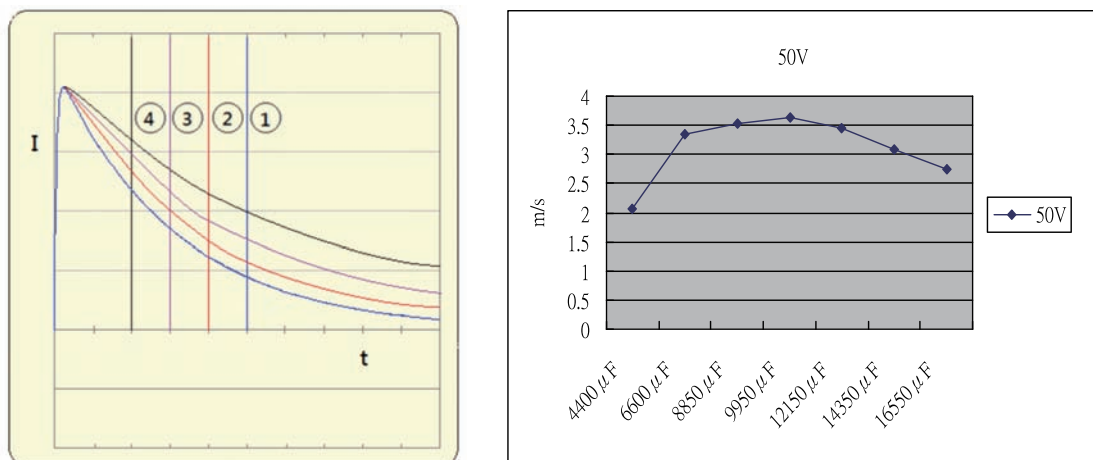
## 五、電容量與速度的關係

### 討論

- ▲ 在相同電壓下，電容量的改變會使放電時間產生變化，可以說在相同磁力情況下，其差別只在於作用時間的長短；因為如前面所提的加速區和減速區，所以會有最高峰的點。



- ▲ 如上二圖，左圖電容量為 $6500\text{ }\mu\text{F}$ ，右圖電容量為 $4500\text{ }\mu\text{F}$ ，注意在 $8.0\text{ ms}$ 時 $6500\text{ }\mu\text{F}$ 電流大於 $4500\text{ }\mu\text{F}$ ，在減速區的功慢慢增加。所以，電容量愈大，減速區的影響越大。



- ▲ 左上圖的曲線對應到相同顏色的直線，隨著電容量的增加，作用在加速區時的衝量越大，所以在加速區所待的時間越少，所以直線往左移。
- ▲ 一開始電容量增加時，雖然減速區影響變大，但加速區的變化大於減速區，就像左上圖一號到二號，一直到加速區的正變化量減掉減速區正變化量變化，速度就有了個最大值。
- ▲ 到後來加速區的正變化量減掉減速區正變化量又變小，所以速度下降

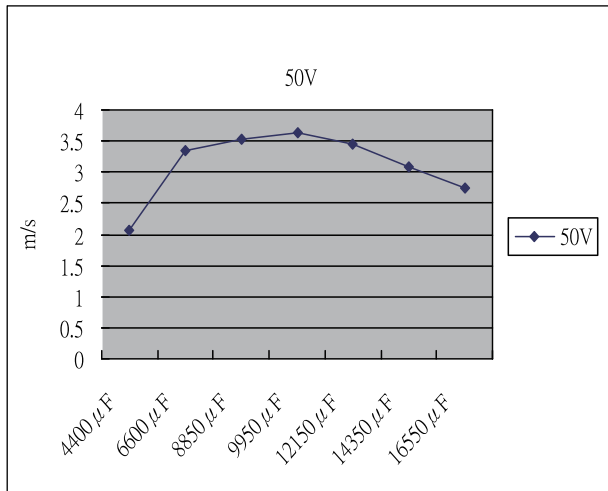
<由此得知的結論>

- ▲ 電壓固定時，會有一電容量使其速度最大。

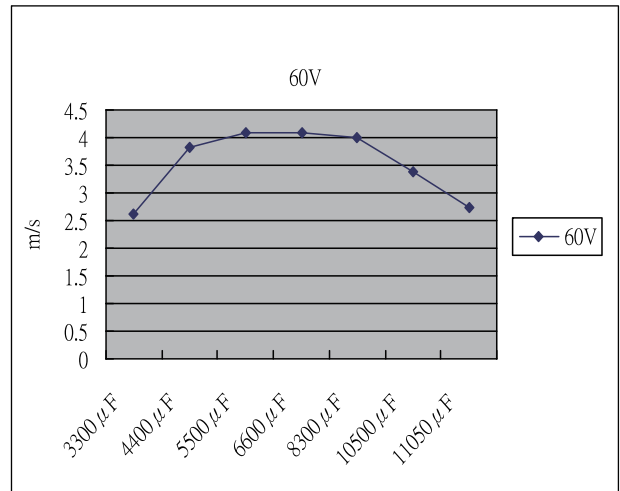
## 六、電容量與電壓的關係（1）

### 此實驗為電容量與速度的圖表

在50V下，電容量與速度關係圖



在60V下，電容量與速度關係圖



### 討論

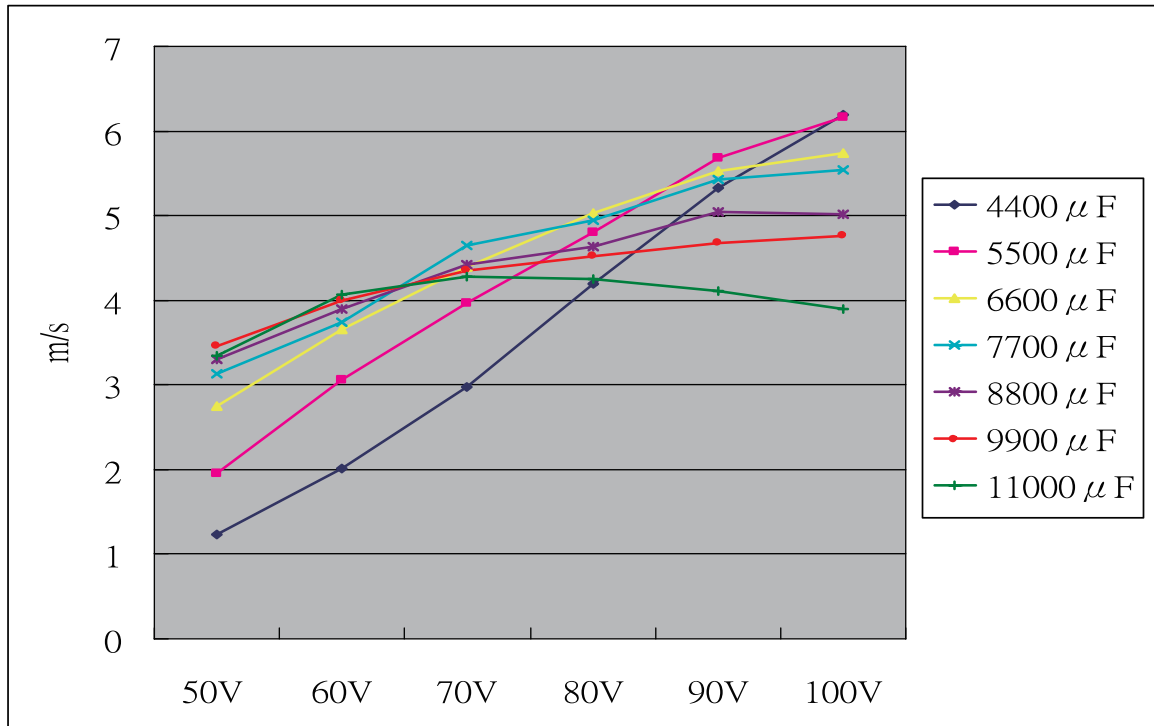
- ▲ 注意兩圖的高峰點有左移的趨勢，50V時速度的高峰在9950  $\mu F$ ，而60V時速度的高峰在5500  $\mu F$ 地方，這是因為電壓越大，速度再加速時加的比較多，如果同電容量的話減速區的影響會越來越大，所以為了使減速區影響變小，越高電壓時所需的電容量越小，才能降低減速區的影響。

<由此得到以下的結論>

- ▲ 要使其速度達到最高時的電容值，則電壓較高時，所需的電容量比電壓較低時來得低。
- ▲ 可以說[電壓]與[電容量的倒數]在造成最高速度時有正相關。

## 七、電容量與電壓的關係（2）

圖表（不同電壓下、不同電容量之下所產生的各種速度）



### 討論

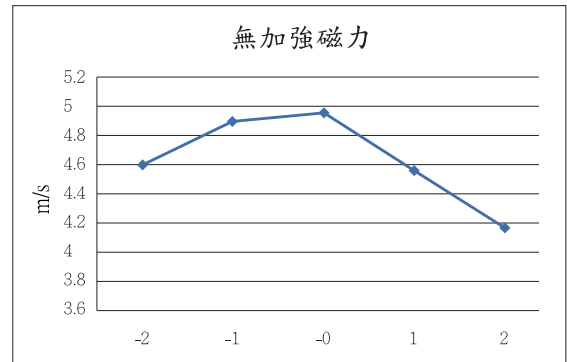
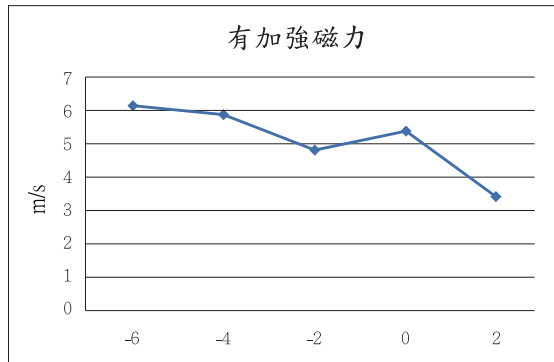
- ▲ 由圖中可看出伴隨著電容量的增加，斜率越來越小。因為電容量的上升，減速區影響大，反而限制能使電磁砲達到最大速度，和其所能達到最大速度的電壓。電容量小越不容易受到減速區所影響，所以電壓上升，速度也跟著上升。

<由此得知的結論>

- ▲ 電容量越大，電壓所能及的最大速度越小。
- ▲ 所以選用低電容量，和利用適當電壓，會使速度更快。

## 八、階梯形的螺線管

### 實驗圖形



### 討論

- ▲ 此為在同電阻，同電壓，同電容量下的實驗。
- ▲ 由上二圖可知在有被磁化的最佳速度會比無磁化來得快。
- ▲ 也因為有階梯形的變化，使加速區變得較長，而使得速度上升，不過有時磁化會造成反效果，是因為磁化後，反而增加減速區的影響。
- ▲ 利用這點，可以製造一個階梯形變化的長型電磁砲管，使加速區更長，進而使速度變快。

<由此得知的結論>

- ▲ 階梯形的變化，不但可以讓物體磁化，而使速度變快，也可使得加速區域變長，而使速度增加，假使能控制放電時間，搞不好可以用高壓的穩定電源供電，使之速度增加。

## 柒、結論

1. 電壓越高時，要使速度最快的位置，將後移，但考慮但磁力線分布，所以會有它的極值，且距離增加越來越少。
2. 當最大速度發生在管內，代表有受磁化。
3. 在同電容量和螺線管時，其中會有一電壓能造成的速度為最大。
4. 電壓固定時，會有一電容量使其速度最大。
5. 電壓與電容量的倒數在造成最高速度時有正相關。
6. 電容量越大，電壓所能及的最大速度越小。
7. 選用低電容量，和利用適當電壓，會使速度更快。
8. 階梯形的變化，不但可以讓物體磁化，而使速度變快，也可使得加速區域變長，而使速度增加，假使能控制放電時間，搞不好可以用高壓的穩定電源供電，使之速度增加。
9. 要使單一電磁砲加速效果最佳，選用電容量較小，電壓高的電容。
10. 或者可以製造一個階梯形變化的長型電磁砲管，利用高壓的穩定電源供電。  
缺點是電阻可能較大，使電流不強。
11. 和傳統武器不一樣，電磁砲是一種安靜的武器，而且可以經由一個或多個線圈，沿著槍管直線排列而組成的電磁砲，而使速度上升。
12. 缺點是，它的轉換率不高，大部分以熱能散失，而且這類武器非常怕水，所以這類武器還是有許多地方需進行改造與改良。
13. 重點是，要一直試，找到能使電磁砲達到最高效果的條件。

## 捌、參考資料及未來發展

### 一、參考資料

<http://www.coilgun.eclipse.co.uk/index.html>

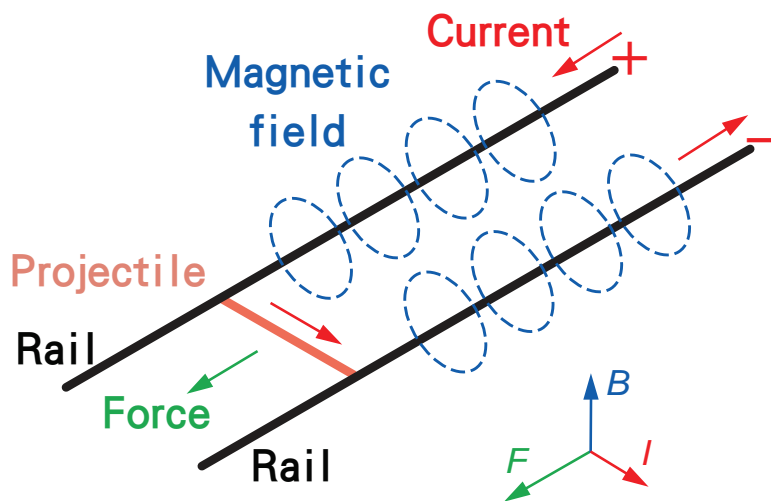
此連結介紹電磁砲和未來的利用

<http://www.coilgun.inFo/mark2/rlcsim.htm>

此連結有RLC電路的模擬，還提供各種螺線圈的資料

雖然電磁砲沒有工業應用，但目前有些人建議，這個系統可以用來發射，將在有效載荷範圍內的物體送入軌道。這是極具吸引力的，但還有許多技術挑戰，需要加以解決，才能被認為是可行的項目。更實際的應用（一）藉由一個長型電磁砲加速器可用來啟動車輛，給予一個初始速度，使離開電磁砲加速器的車輛，啟動本身的推進器進入軌道。這種啟動模式可以大大節省燃料成本。（二）從軍事角度來看電磁砲技術可以使用在未來作戰車輛，例如，它可以設計成一種所謂的“主動電磁裝甲”系統。超高速發射仍然是軌道炮（註1）的領域，如果有再進行研究電磁砲的話。它可能令你驚訝地得知，它是個新鮮事。

（註1）軌道炮：





## **【評語】 040111**

- 1.本件作品以動手實作製造電磁線圈及相關電路，十分值得鼓勵自製研究實驗教具精神。
- 2.電磁線圈實驗系統化探究各類變因對應變結果關係，可以再予理論互證分析，加強討論分析。
- 3.本件作品可再發展相關應用製作。