

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第三名

030111

無聲動力—線圈砲的發射分析與應用

學校名稱：新北市立三和國民中學

作者： 國二 郭彥助 國二 鄧雅文 國二 李靖元	指導老師： 商仲凱
---	------------------

關鍵詞：線圈砲、電容、coligun

摘要

組裝線圈砲，發現主要的發射因素由電容、線圈、電壓、發射物形狀等變因所影響。因此實驗上探討以上變因，並且發現以下三點：一、線圈內的磁力有對稱性且對發射物產生加速與減速作用。二、適當的電容量，配合高電壓，即可讓發射物有較佳的發射速率。三、發射物的形狀會影響線圈內所受磁力，也影響發射速率。最後加上紅外線感應器，來探討線圈砲對物體的加速與減速應用。

壹、研究動機

近來，以槍戰為主題的線上遊戲種類實在五花八門，令人眼花撩亂。有一次，我們無意間在網路上得知線圈砲的相關知識，也意外得知這個由電磁線圈組成的直線電動機的簡單裝置，竟然可以將發射物發射出去，力道之大甚至變成一種新型武器。這個意外的發現，不禁引起我們的好奇，心裡想著，如果這能普遍應用在交通工具上，一定能改善都市空氣品質，也響應「做環保，愛地球」的觀念。所以，我們開始著手這次的計畫。

貳、研究目的

- 一、瞭解並組裝線圈砲
- 二、線圈內部的磁力探討
- 三、探討電容容量與發射物速度的關係
- 四、電壓與發射物速度的關係
- 五、發射物的發射位置與速度的關係
- 六、發射物質量與速度的關係
- 七、應用在物體的加速和減速裝置

參、研究設備與器材

漆包線(內徑 0.75 mm)、不同容量電容數個、電源供應器、馬達、鐵質圓柱體、三段開關、單刀開關、鱷魚夾、三用電表、透明壓克力管、定值電阻、可變電阻、電晶體、LED、消磁器、焊槍、錫線、單芯線、熱熔槍、熱熔膠條、捲尺、塑膠尺、定滑輪、電子天秤、伸縮腳架、砂紙、絕緣膠布、數位攝影機。

肆、研究過程或方法

一、瞭解並組裝線圈砲

我們在網路上看到關於線圈砲 (coilgun) 的短片與介紹，發現要組裝一組線圈砲，至少需要有線圈與電容兩部分的配合。

- (一) 一開始以銅線纏繞來測試線圈的磁力效果，但繞完線圈接上電池，以磁針測試後，卻發現完全沒有磁力顯示，後來發現銅線彼此之間會傳導電流，只有漆包線才可讓電流循環前進而產生磁力。

- (二) 線圈砲的組裝與電容有密切關係。

因電容的快速放電，使得線圈中的正向磁力可以精準施力於發射物而加速前進，而發射物在

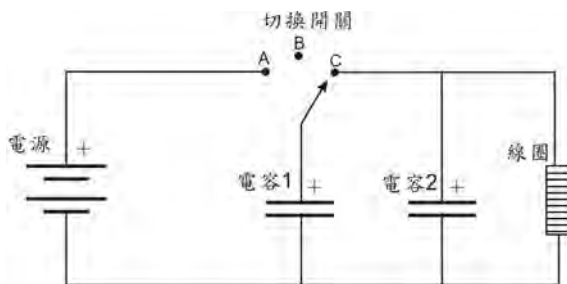
經過負向磁力時，電容已經放電完畢，因而減少負向磁力的減速效果。

1. 電容上標示兩種規格：例如『2200 μF ，200 V』。表示電容的容量為 2200 μF (微法拉)，耐伏 200 V 則表示最高充電的電壓可至 200 伏特。如右圖示：
2. 組裝電容的電路，分為下列 3 種：



<p>(1) 充電：將開關調至右圖 A 點。將電源與電容，正極接正極，負極接負極。這時電池會對電容充電，電容兩端電壓增大至與電源電壓 V 相等時，電容充電完畢，電路中沒有電流流動，而電容的充電過程完成。</p>	
<p>(2) 斷路：將開關調至右圖 B 點。理論上，這時候完全沒有電流流經電容，但是我們以電表測試發現，電容常會有緩慢的漏電現象，使電壓逐漸降低。</p>	
<p>(3) 放電：將開關調至右圖 C 點。這時電容會快速放電。</p>	

3. 電容的並聯：如下圖示，總電容量為並聯的電容量相加 (總電容量 = 電容 1 + 電容 2)，而電壓則同為充電時的電壓。

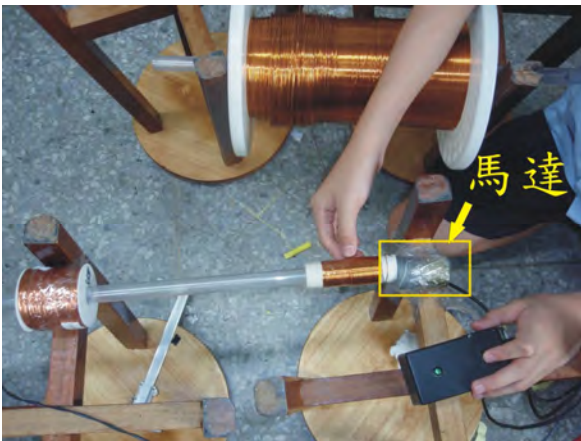


4. 電容幾乎存在於所有電子電路中，它可以作為“快速電池”使用。如在照相機的閃光燈中，電容作為儲能元件，在閃光的瞬間快速釋放能量。

(三) 依照上述的說明，我們打造出第一個線圈砲。以漆包線纏繞在透明壓克力管上，長 4 公分，3 層。並接上 1800 μF 的電容，接上電源供應器作為充電電源，充電後測試。

(四) 在實驗的過程中，我們發現以手工纏繞線圈，需要大量的時間，卻又不一定會繞得

整齊，因此採用小馬達，自製一個線圈纏繞機。馬達可以控制轉速快慢，有效加強線圈的整齊纏繞與加快製作時間。如下圖一所示：

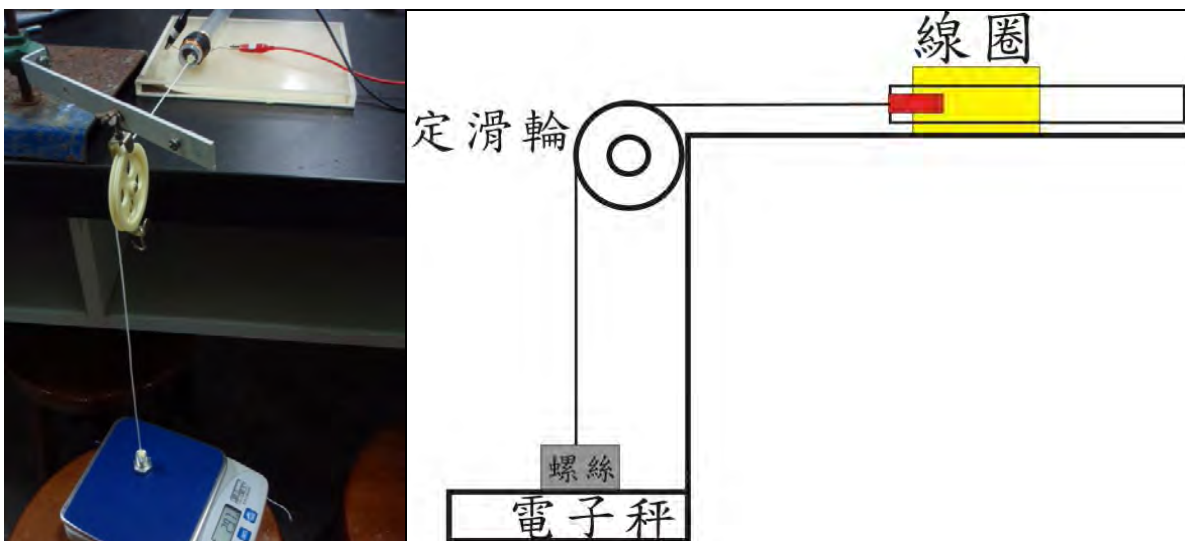


圖一 自製線圈機

二、線圈磁力的探討

(一) 測試一：

1. 以線圈搭配固定電壓來測量磁力的大小。將電壓調為 30 V，電容量為 1800 μF 。
2. 發射物的後端連結棉線與重螺絲，螺絲置於電子秤上。當發射物發射時，會帶動後面的棉線與螺絲，使電子秤重量減輕，減輕的重量即為發射物所受磁力。裝置如下圖二所示：



圖二 實驗裝置圖

3. 結果：發射物的發射速度太快，瞬間即彈射完畢，電子秤的顯示讀數無法反應瞬間的重量變化，讀數無變化。以此方式並無法測出發射物在線圈中所受磁力的大小。

(二) 測試二：

1. 以定滑輪懸吊棉線，一端綁住置於電子秤上的砝碼，另一端則綁住鐵質物（長 25 mm，直徑 8 mm 的低碳鐵質圓柱體）。
2. 鐵質物下方裝置一個線圈（以直徑 0.75 mm 的漆包線纏繞成長度 8 cm，3 層的線圈），線圈固定於可調整高度的腳架上方。以腳架的升降來改變鐵質物與線圈的距離，一旁固定長尺以定位線圈與鐵質物的相對位置。此方式即可測量出鐵質物在線圈內的所受磁力大小。

裝置如下圖所示：



圖三 可調整高度的線圈測量鐵質物質心至線圈開口端的距離

(三) 探討相同截面積，不同長度的鐵質物，在線圈內所受的磁力大小

(為了符合線圈內部為圓管形空間，鐵質物皆以圓柱體為主)

- 1.以測試二的裝置進行實驗。調整電壓為 40 V，分別取截面積直徑 13 mm，長 15 mm 的鐵質物，以鐵質物的質心至線圈開口端為距離，每隔 5 mm 測量一次，紀錄鐵質物在線圈的不同相對位置所受磁力大小。
- 2.固定鐵質物直徑為 13 mm，長度增為 20 mm、25 mm，重複步驟 1，如圖四所示。



圖四 同截面積，不同長度的鐵質物

(四) 探討同質量，不同長度比例的圓柱鐵質物，在線圈內所受的磁力大小。

- 1.固定鐵質物質量為 13.8 g 的圓柱體，改變長度與截面直徑如下表一與圖五所示。

鐵質物	1	2	3	4
長度 (mm)	15.5	25	35	62
截面直徑 (mm)	12	9.5	8	6

表一



圖五 同質量，不同長度比例的鐵質物

2. 以測試二的裝置進行實驗，分別測量上述 4 種鐵質物在線圈中所受磁力大小。

(五) 探討相同鐵質物在不同電壓下，在線圈中所受磁力大小。

1. 以測試二的裝置進行實驗。

2. 接上電源供應器，調整電壓為 30 V、40 V、50 V，紀錄鐵質物在線圈中所受磁力大小。

(六) 探討相同鐵質物在不同線圈長度下，所受的磁力大小。

1. 以測試二的裝置進行實驗。

2. 以自製線圈纏繞機纏繞線圈，長度分別為 10 cm、12 cm、14 cm、16 cm，皆纏繞 3 層，並接上電壓 40 V，紀錄鐵質物在線圈的不同相對位置所受磁力大小。

三、探討電容容量與發射物速度的關係

實驗步驟：

(一) 以數位攝影機對準裝置，接上電容與電源，固定電壓為 30 V，固定鐵質發射物質量為 8.6 g，探討發射物在不同電容量下的發射速度。結果發現發射物的速度太快，數位攝影機以每秒 30 格拍攝的影像仍然有殘影存在，無法精準捕捉影像以計算發射物的速度。

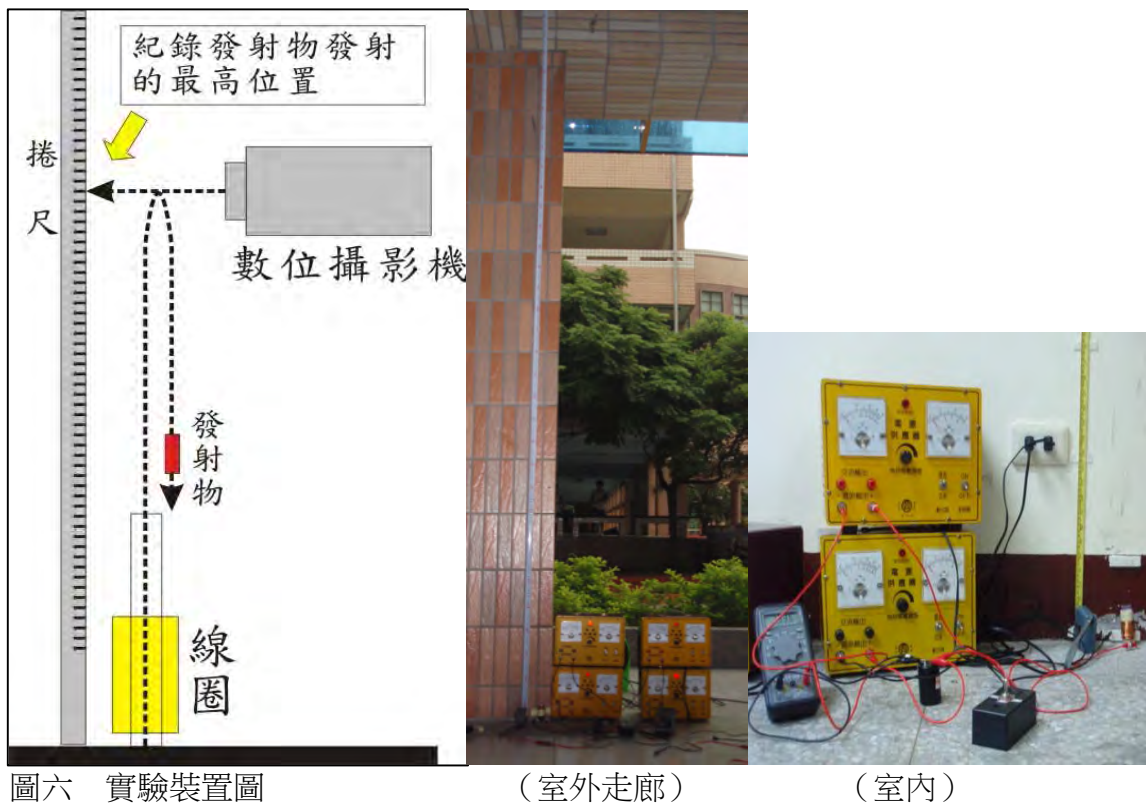
(二) 改良為將發射物置於地面並垂直向上發射，以攝影機記錄發射物所到達的最高發射位置，利用地表的重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ，即可求出發射物的發射初速度。若發射物發射後的最高點為 H，則：

$$V^2 = V_0^2 - 2gH \quad \text{因最高點瞬時速率 } V=0, \text{ 可求出發射初速 } V_0 = \sqrt{2gH}$$

(三) 將捲尺黏貼至牆上，架設好攝影機。將電源供應器及線圈架設完畢，將發射物的質心與線圈底部開口端切齊，固定線圈長度為 4 cm，6 層。

(四) 並聯電容來加大電容量，得到不同的電容量 (390 μF ~10700 μF)，固定電壓為 60 V，使用長 25 mm，直徑 8 mm 的低碳鐵質圓柱體進行發射，並記錄發射物的最大高度。

(五) 實驗前必須先試射一次，確定攝影機的架設位置。裝置如下圖六所示：



圖六 實驗裝置圖

(室外走廊)

(室內)

四、探討電壓與發射物速度的關係

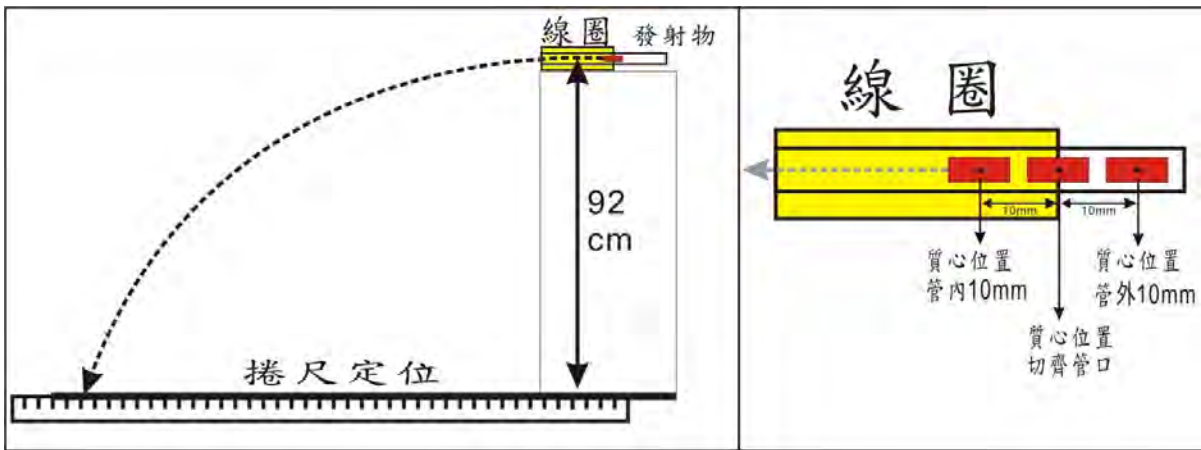
實驗步驟：

- (一) 將捲尺黏貼至牆上後，使用鐵質圓柱體（質量 9.8 g，長 25 mm，直徑 8 mm）進行發射。將電壓調為 30 V，將發射物質心與線圈開口端切齊，固定線圈長度為 4 公分，6 層，分別以 390 μ F ~ 5100 μ F 等不同電容進行實驗。
- (二) 實驗前必須先試射一次，確定攝影機的架設位置。利用攝影機拍攝到的高度與公式，算出發射物射出的速率。
- (三) 將電壓每 10 V 調升 1 次，由 30 V ~ 180 V，重複步驟（一）、（二），並記錄結果。

五、發射物發射位置與速度的關係

實驗步驟：

- (一) 以長度 4 cm，纏繞 6 層的發射線圈，接上 1800 μ F 電容，電壓 70 V，以鐵質圓柱體（質量 9.8 g，長 25 mm，直徑 8 mm）為發射物。
- (二) 裝置置於高度 92 cm 的水平桌面上，地上黏貼捲尺，記錄發射物落地的水平距離。因高度 92 cm 的自由落體時間約為 0.43 秒，推算 $\text{水平距離} \div 0.43 = \text{發射初速}$ 。
- (三) 以發射物質心至線圈管口為距離，每 5 mm 發射一次。如下圖七所示：



圖七

(四) 將電壓調高為 80 V 與 90 V，重複步驟 (三)，並記錄結果。

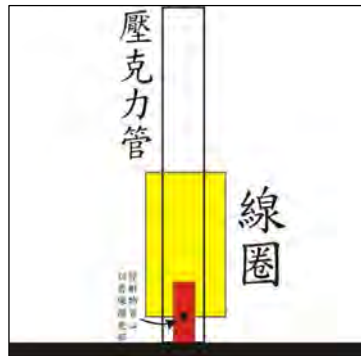
六、發射物長度與速度的關係

實驗步驟：

(一) 製作 5 個同截面積 (截面直徑 8 mm)，不同長度的鐵質發射物，如下表二所示。

鐵質物長度 (mm)	質量 (g)
40 mm	15.8
35 mm	13.8
30 mm	11.8
25 mm	9.8
20 mm	7.8

表二

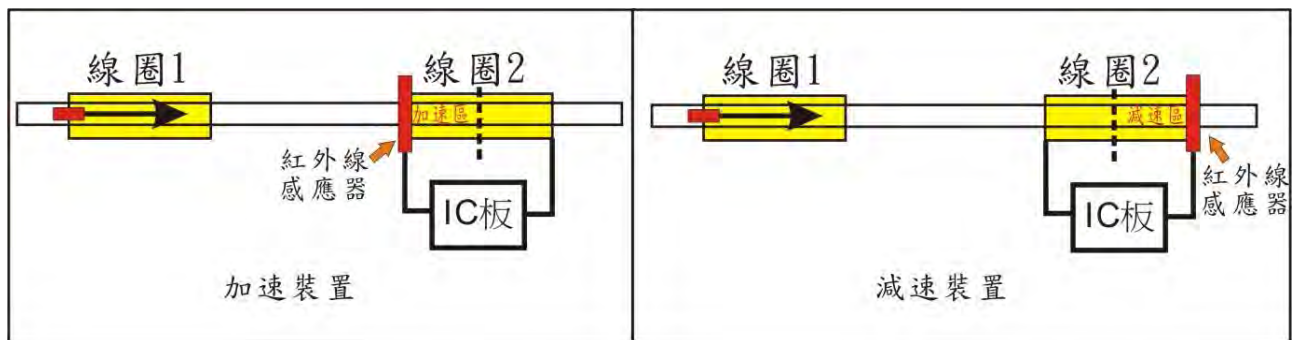


圖八

(二) 將捲尺貼於牆上，將發射物質心切齊線圈底部開口端，接上 1800 μF 電容，電壓調至 80 V，先試射一次，觀察其高度，以攝影機定位拍攝，依序使用不同長度的鐵質發射物發射，並記錄發射物的最大高度，如上圖八所示。

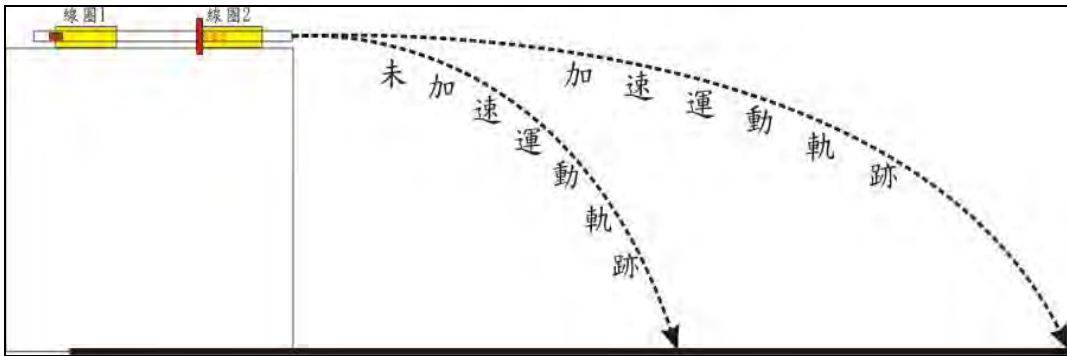
七、應用在物體的加速和減速裝置

(一) 首先要製造一個鎖定式光電開關，為紅外線感應開關，也就是一旦被觸發就接通電路，使電容放電，進而使線圈對發射物產生加、減速的效果。構想如圖九所示：



圖九 加、減速的裝置圖

1. 加速 (需將紅外線感應器裝置於線圈 2 號的前端)，如下圖十所示：



圖十 加速裝置圖

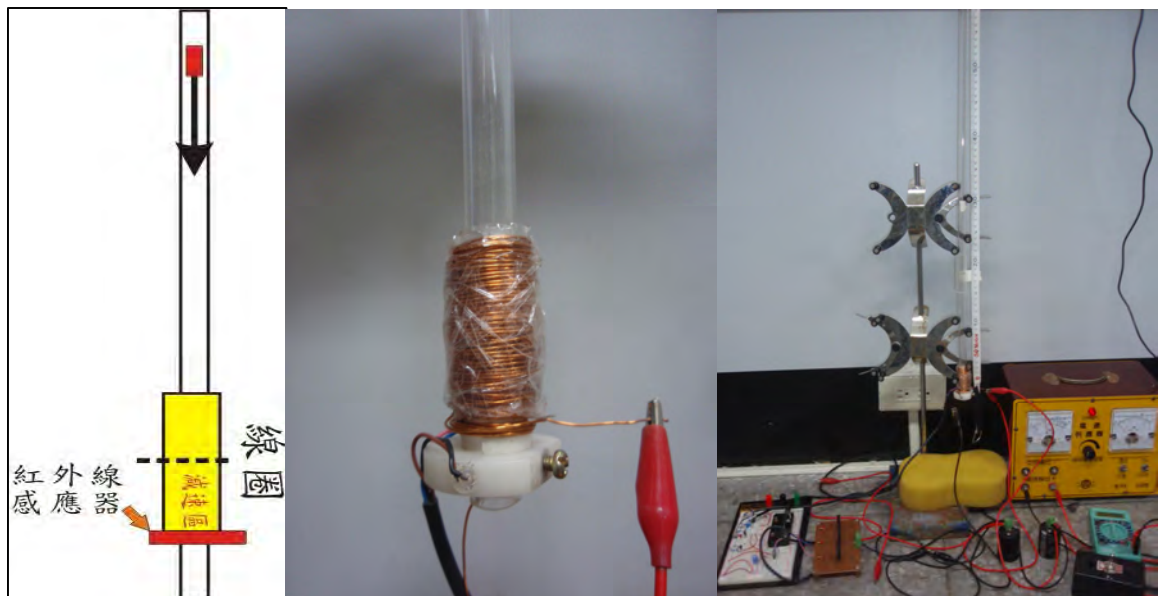
- (1) 加速時，使用兩個線圈（皆為 4 cm，6 層），電壓 50 V，將紅外線收發裝置套在線圈 2 號「前端」，當發射物經過線圈 2 號，經紅外線感應而使電容放電，造成加速效果。
- (2) 將裝置架設於 92 cm 高的桌面上，紀錄測試未經加速的落下水平距離，與經加速後的水平距離。

2. **減速**（需將紅外線感應器裝置於線圈 2 號的後端），如下圖十一所示：

- (1) 減速時，以上述水平雙線圈皆可使發射物煞在減速區中。
- (2) 改變以垂直方式，測試自由落體鐵質物的減速效果。

使用一個長度 4 cm，6 層的線圈，供應電壓 50 V。把紅外線感應器套在接近線圈減速區的「後端」，鐵質物由高處，經由壓克力管垂直落下，通過紅外線感應器時，會感應而啟動開關持續放電，造成持續的磁力（阻力）而吸住鐵質物，使鐵質物可『煞車』在線圈中。

- (3) 改變鐵質物的長度（裁切直徑 8 mm 的鐵質圓棒，長度分別為 2 cm、3 cm、4 cm.....至 10 cm）與落下高度，記錄可以鐵質物可『煞車』在線圈中的最佳長度與最大高度。

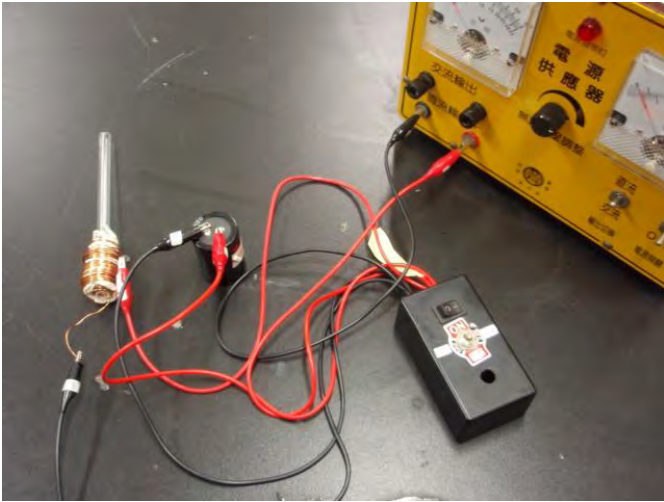


圖十一 減速裝置的應用

伍、研究結果

一、瞭解並組裝線圈砲

組裝如下圖所示：



組裝完成的線圈砲可在電容放電時發射螺絲等鐵製物體，令我們興奮了好久，進一步想要探討其它發射的變因。

二、線圈磁力的探討

(一) 探討相同直徑，不同長度的圓柱形鐵質物，在線圈內所受的磁力大小。

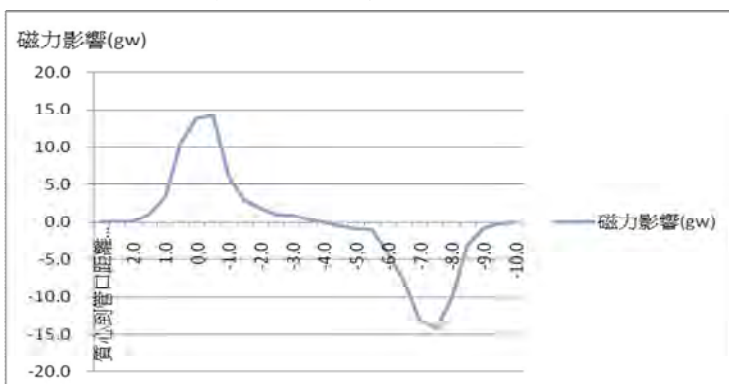
●以下皆為電壓 40 V，線圈長度 8 cm，3 層，鐵質物直徑固定為 13 mm，只改變鐵質物的長度。

●表格中的橘色部分為鐵質物進入線圈的內部範圍。

1. 鐵質物長度 15 mm

質心到管口距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
磁力影響(gw)	0.0	0.2	0.2	1.0	3.4	10.6	13.9	14.2	6.1	3.0	1.8	1.1	0.9	0.4
質心到管口距離(cm)	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5	
磁力影響(gw)	0.0	-0.5	-0.9	-1.0	-4.3	-7.8	-13.1	-14.3	-10.2	-3.1	-0.8	-0.2	0.0	

表三 鐵質物長度 15 mm 所受磁力表 (橘色部分為鐵質物進入線圈的內部範圍)

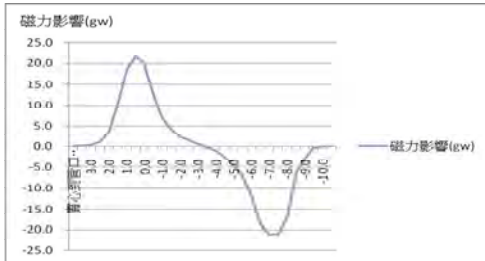


圖十二

2. 鐵質物長度 20 mm

質心到管口距離(cm)	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5
磁力影響(gw)	0.0	0.1	0.3	1.1	3.7	10.0	18.5	21.6	20.0	12.8	6.8	4.2	2.3	1.5	0.5
質心到管口距離(cm)	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5	-11.0
磁力影響(gw)	-0.2	-0.9	-2.6	-4.7	-6.7	-11.7	-18.7	-21.2	-21.2	-17.2	-6.5	-2.8	-0.3	-0.1	0.0

表四 鐵質物長度 20 mm 所受磁力表（橘色部分為鐵質物進入線圈的內部範圍）

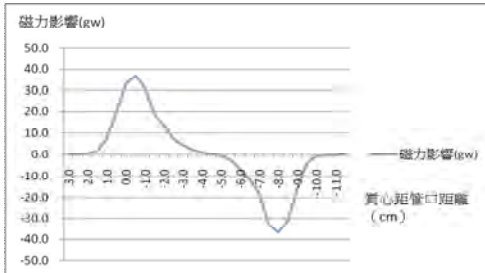


圖十三

3. 鐵質物長度 25 mm

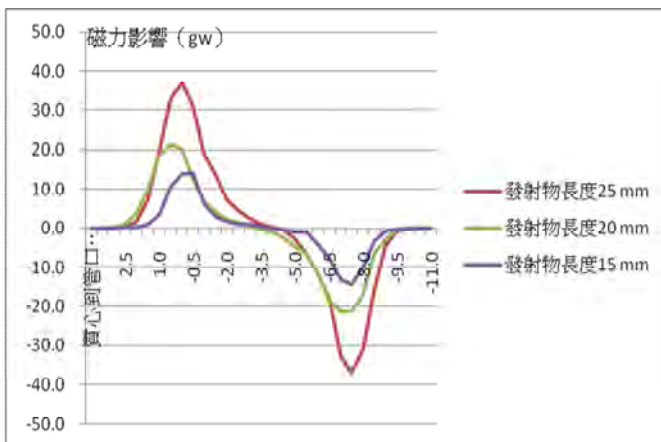
質心到管口距離(cm)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
磁力影響(gw)	0.0	0.1	0.5	1.8	7.1	19.5	32.9	36.9	31.2	18.9	13.7	7.3	4.5	2.4	1.1
質心到管口距離(cm)	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5	-11.0	-11.5
磁力影響(gw)	0.2	-0.6	-2.7	-6.6	-11.7	-18.2	-32.9	-36.9	-31.2	-15.5	-4.1	-0.8	-0.3	-0.1	0.0

表五 鐵質物長度 25 mm 所受磁力表



圖十四

討論：由實驗結果可發現，鐵質物在線圈內的長度愈長，所受磁力會愈大。如下圖十五所示。但我們不禁有疑問，到底是鐵質物的長度，還是質量大小在影響磁力？



圖十五 不同長度（質量）的鐵質物受磁力圖

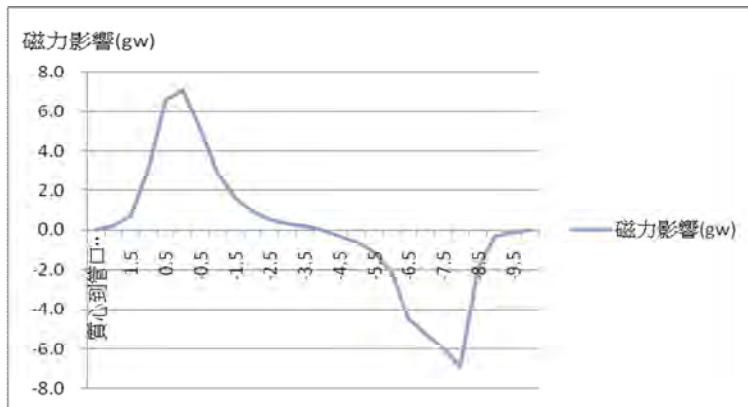
(二) 探討同質量，不同長度比例的圓柱鐵質物，在線圈內所受的磁力大小。

● 以下皆為電壓 40 V，線圈長度 8 cm，纏繞 3 層。改變圓柱體鐵質物的長度與截面直徑比例。

1. 鐵質物長度 15.5 mm，直徑 12 mm。

質心到管口距離(cm)	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
磁力影響(gw)	0.0	0.2	0.7	3.1	6.6	7.1	5.1	2.9	1.7	0.9	0.5	0.3	0.2
質心到管口距離(cm)	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	0.0	-0.3	-0.6	-1.1	-2.1	-4.5	-5.2	-6.0	-6.9	-1.9	-0.3	-0.1	0.0

表六

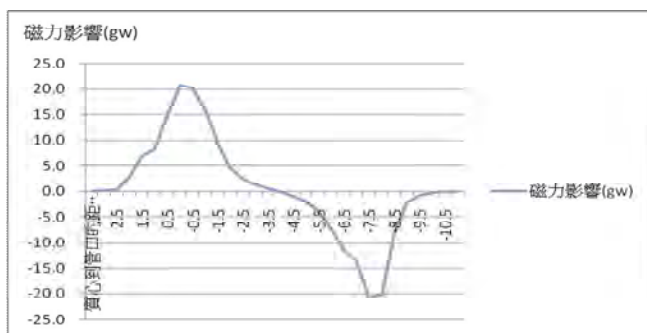


圖十六

2. 鐵質物長度 25 mm，直徑 9.5 mm。

質心到管口距離(cm)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
磁力影響(gw)	0.0	0.2	0.3	2.8	7.0	8.4	14.8	20.7	20.2	16.0	9.4	4.7	2.4	1.3	0.6
質心到管口距離(cm)	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5	-11.0	-11.5
磁力影響(gw)	-0.1	-0.9	-2.1	-3.8	-7.2	-11.3	-13.5	-20.7	-20.2	-7.9	-2.2	-0.8	-0.3	-0.1	0.0

表七

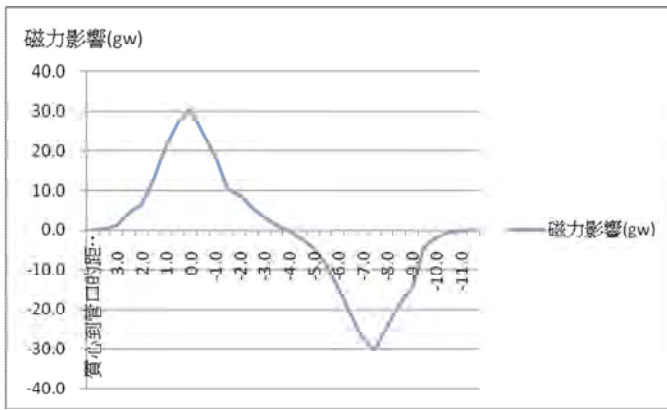


圖十七

3. 鐵質物長度 35 mm，直徑 8 mm。

質心到管口距離(cm)	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
磁力影響(gw)	0.0	0.3	1.3	4.5	6.3	12.8	21.3	27.3	30.4	24.3	18.6	10.4	8.9	5.6	3.2	1.3
質心到管口距離(cm)	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5	-11.0	-11.5	-12.0
磁力影響(gw)	-0.2	-2.4	-4.4	-8.7	-14.6	-21.3	-27.3	-30.4	-24.3	-18.6	-14.6	-4.5	-2.0	-0.5	-0.2	0.0

表八

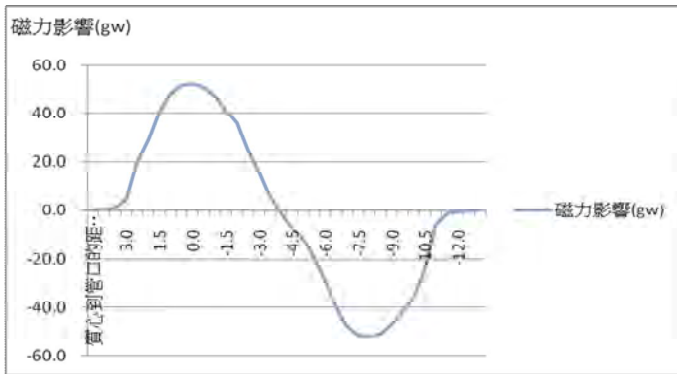


圖十八

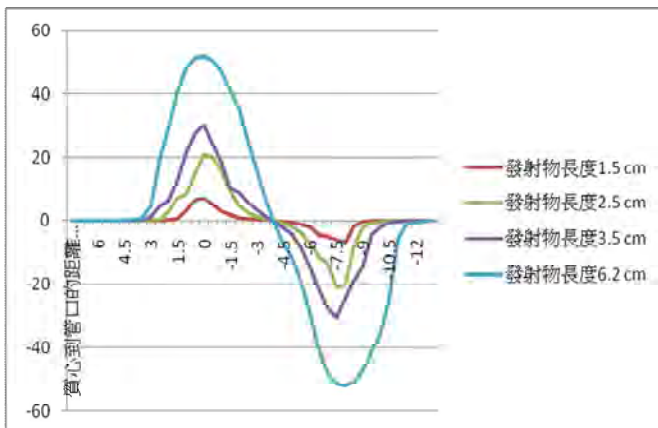
4.鐵質物長度 62 mm，直徑 6 mm。

質心到管口距離(cm)	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5
磁力影響(gw)	0.2	0.4	1.0	4.5	19.2	29.2	40.3	48.1	51.5	52.1	50.9	47.3	41.4	35.8	24.7	15.9	6.3	-1.2
質心到管口距離(cm)	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5
磁力影響(gw)	-7.3	-11.8	-19.2	-29.2	-40.3	-48.1	-51.5	-52.1	-50.9	-47.3	-41.4	-35.8	-24.7	-5.5	-1.1	-0.5	-0.2	0.0

表九



圖十九

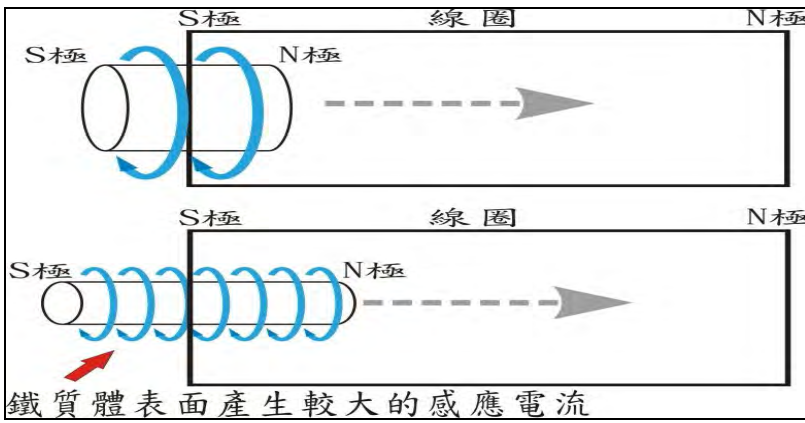


圖二十 不同長度比例的鐵質物受磁力圖

5.由上述結果可以發現，同質量的鐵質物，長度比例愈細長（長度愈長，截面積愈小），所受磁力明顯增大，且在線圈開口附近受到磁力影響的範圍也明顯增廣。

而較長型的鐵質物在線圈中除了受到明顯磁力作用之外，鐵質物的溫度也急遽升高，推論應是在長型鐵質物中有較大的感應電流出現。

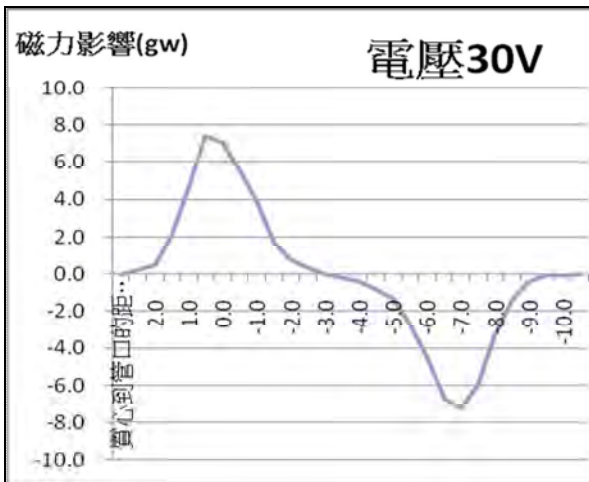
我們探討的原因如下：較長比例的鐵質圓柱體，側邊有較大的環狀表面積，在線圈的磁場中，因而產生較大的感應電流。如下圖二十一所示：



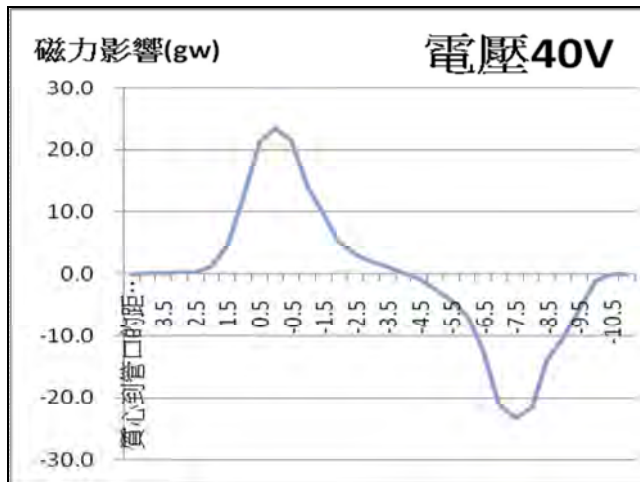
圖二十一

(四) 探討相同鐵質物在不同電壓下，在線圈內所受的磁力大小。

結果如下圖所示（實驗結果的數字部分記錄於附件中）：



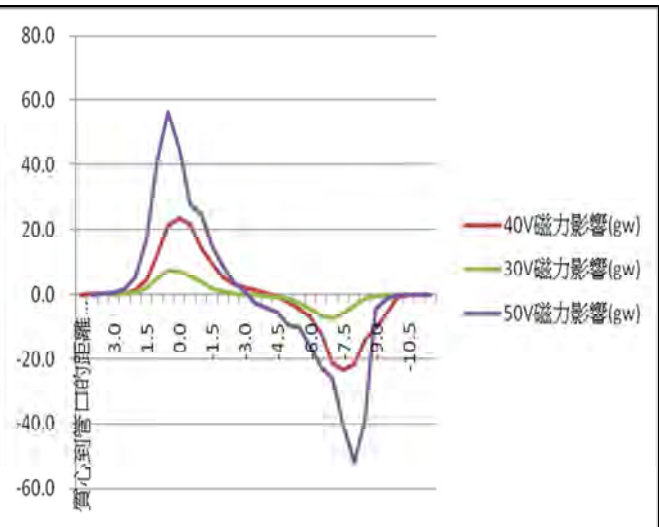
圖二十二 電壓 30 V 磁力分佈圖



圖二十三 電壓 40 V 磁力分佈圖



圖二十四 電壓 50 V 磁力分佈圖

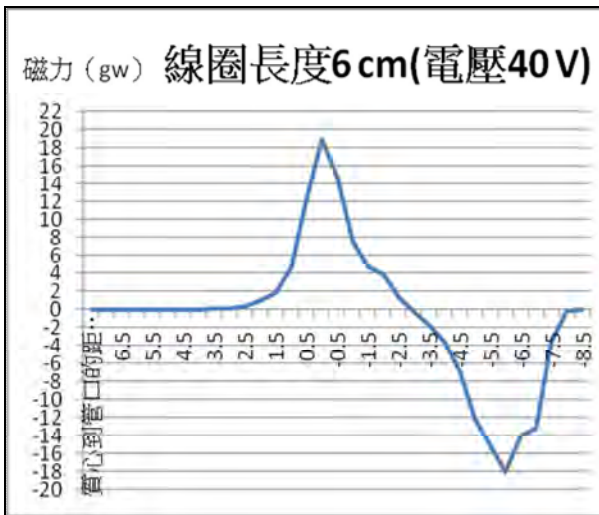


圖二十五 電壓 30 V、40 V、50 V 磁力分佈圖

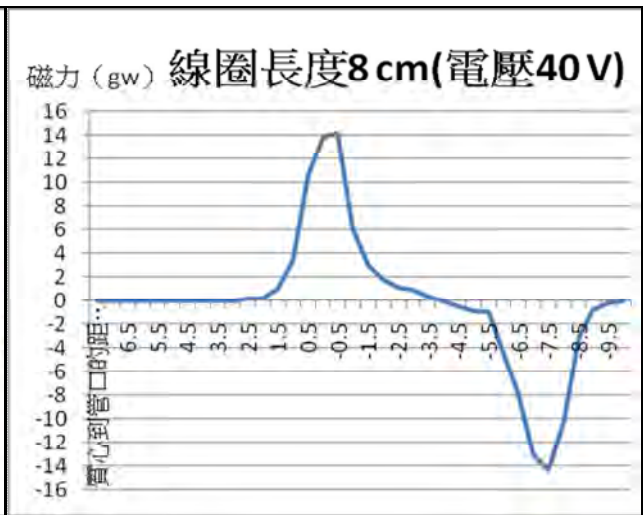
結論：由圖二十五可看出，電壓愈大，鐵質物所受磁力明顯愈大。

(五) 探討相同鐵質物在不同線圈長度下，所受的磁力大小。

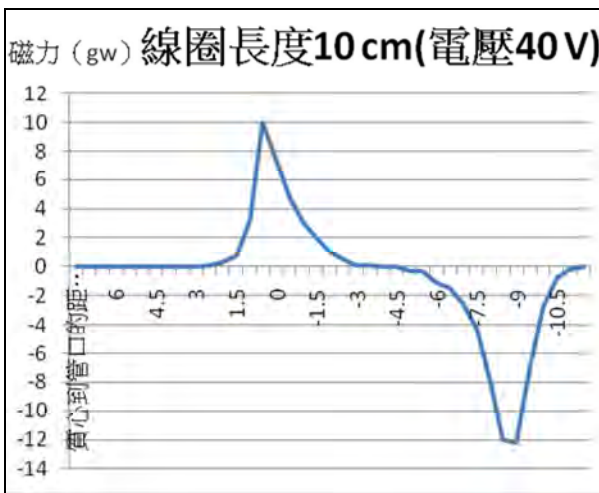
結果如下圖所示（實驗結果的數字部分記錄於附件中）：



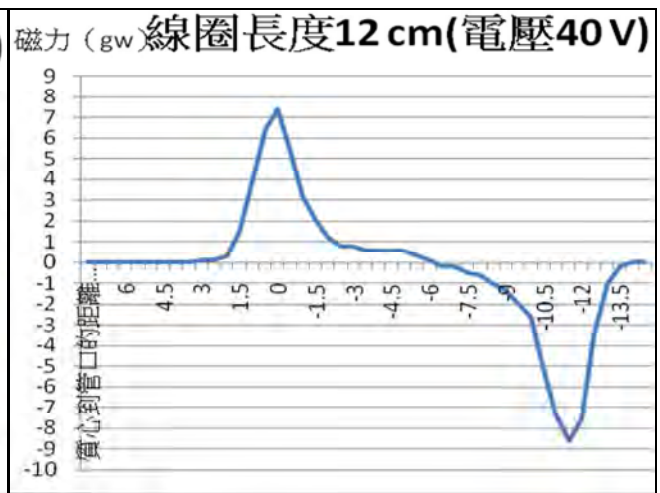
圖二十六 長度 6 cm 線圈磁力分佈圖



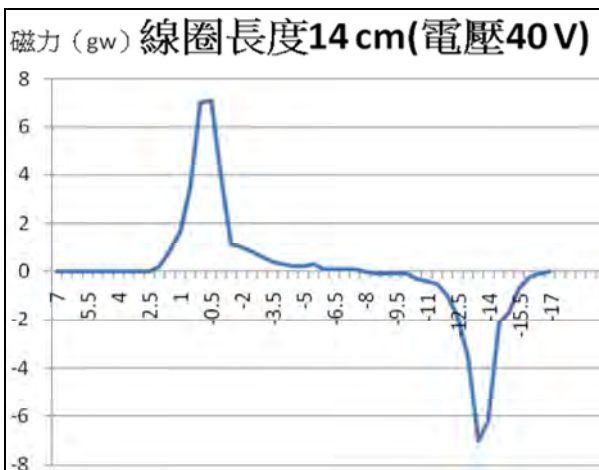
圖二十七 長度 8 cm 線圈磁力分佈圖



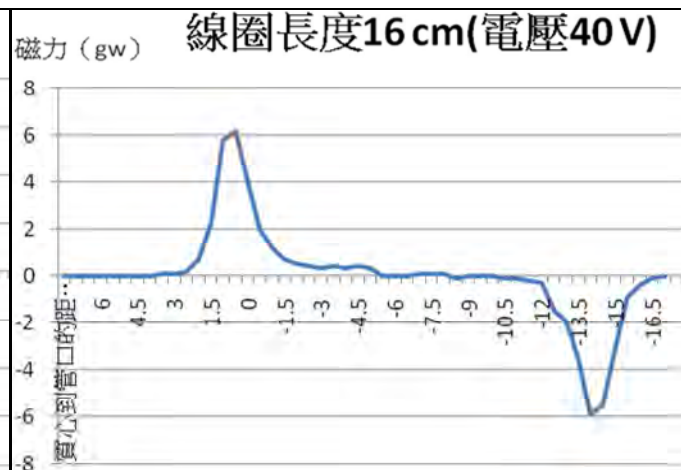
圖二十八 長度 10 cm 線圈磁力分佈圖



圖二十九 長度 12 cm 線圈磁力分佈圖



圖三十 長度 14 cm 線圈磁力分佈圖

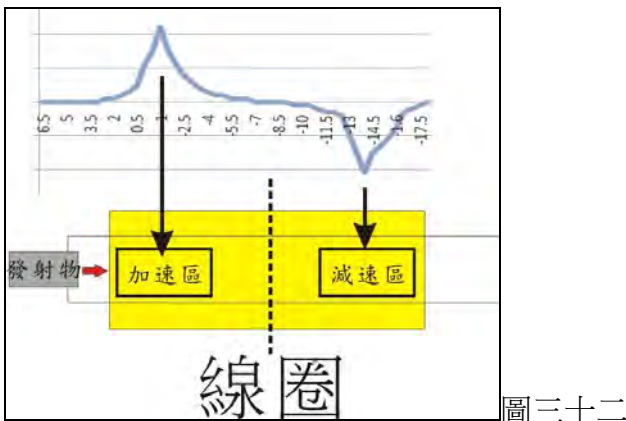


圖三十一 長度 16 cm 線圈磁力分佈圖

1. 因為固定電壓為 40 V，改變線圈長度來測試鐵質物所受的磁力，因此線圈長度愈長，線圈內電阻的阻力愈大，根據歐姆定律 $V = IR$ ，相同電壓之下，導線愈長，電阻愈大，電流會愈小。也因此，線圈所產生的磁力會愈弱。
2. 由圖可看出，最短 6 cm 線圈的磁力最大，且線圈兩側開口端的磁力分佈至線圈中點附近，

緊接著是反向磁力分佈至另一開口。而最長線圈 16 cm 的磁力分佈明顯較弱，且磁力分佈在於兩側開口端附近，線圈中間段磁力明顯微弱。

3. 線圈長度 6 cm~12 cm，開口端都有約 3 cm（由 1.5cm~ -1.5cm）的磁力作用範圍，但是很明顯的，線圈長度愈短，表現在最高磁作用力明顯增加。例如長度 6 cm 線圈的最大磁力為 18.9 gw，而長度 8 cm 線圈的最大磁力為 14.2 gw，長度 10 cm 線圈的最大磁力為 10.0 gw。
4. 由此結果，我們認為若要有好的發射效果，在相同電壓之下，線圈長度要短，使電阻小，電流大，磁力會明顯增大。
5. 由以上實驗所示，發現鐵質物所受的磁力明顯發生在線圈兩端開口附近，線圈內部中點幾乎無磁力作用。而鐵質物進入線圈時被拉向線圈中點，而離開線圈時也被拉回線圈中點，兩者磁力方向相反，大小具有對稱性。而這兩種不同磁力的作用，也解釋了線圈砲發射物在線圈內部所受加速與減速作用。
發射物在進入線圈時，會被磁力吸引而加速，離開線圈時也會被磁力吸引而減速。進一步推論，若將線圈以中點分為兩半，前半段對發射物是**加速區**，後半段對發射物是**減速區**。如下圖三十二說明：



圖三十二

三、探討電容容量與發射物速度的關係

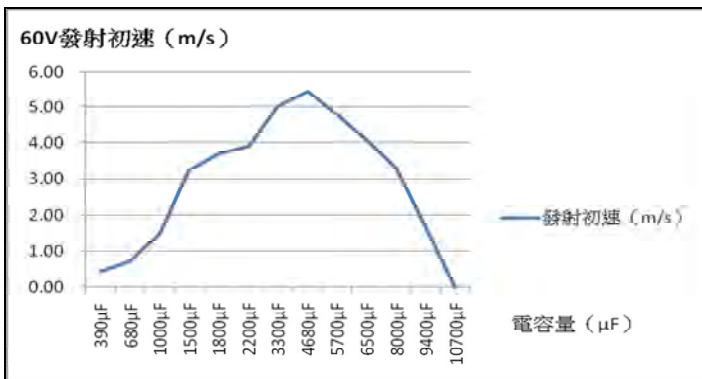
實驗結果：(黃色部分為發射物的最高初速)

電壓 60 V

電容量 (μF)	高度 1 (cm)	高度 2 (cm)	高度 3 (cm)	高度 4 (cm)	高度 5 (cm)	平均高度 (cm)	發射初速 (m/s)
390 μF	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.44
680 μF	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.6	0.71
1000 μF	10.8	11.0	11.6	11.2	10.5	11.0	1.47
1500 μF	53.5	54.3	53.0	54.2	53.5	53.7	3.24
1800 μF	68.8	68.9	70.2	70.0	69.5	69.5	3.69
2200 μF	78.1	78.0	77.4	77.2	78.0	77.7	3.90
3300 μF	128.3	129.0	128.5	128.0	129.6	128.7	5.02
4680 μF	150.2	151.0	149.5	150.4	151.1	150.4	5.43
5700 μF	116.0	117.0	117.2	118.1	117.6	117.2	4.79
6500 μF	85.0	85.3	84.5	84.2	84.0	84.6	4.07

8000 μF	55.2	56.0	54.5	56.0	55.3	55.4	3.30
9400 μF	14.5	13.2	13.5	14.1	14.0	13.9	1.65
10700 μF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

表十

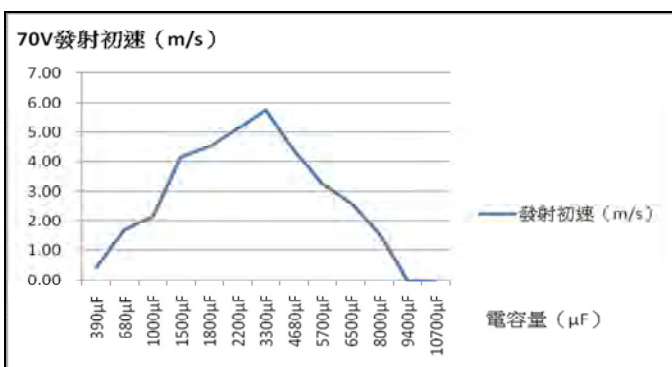


圖三十三

電壓 70 V

電容量(μF)	高度 1 (cm)	高度 2 (cm)	高度 3 (cm)	高度 4 (cm)	高度 5 (cm)	平均高度 (cm)	發射初速 (m/s)
390 μF	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.44
680 μF	13.0	15.2	14.3	15.0	15.4	14.6	1.69
1000 μF	23.2	23.5	23.9	24.0	24.8	23.9	2.16
1500 μF	88.3	88.2	87.3	86.5	86.3	87.3	4.14
1800 μF	103.5	103.2	104.0	102.5	103.4	103.3	4.50
2200 μF	132.5	133.4	133.7	133.8	134.5	133.6	5.12
3300 μF	168.4	168.2	169.3	167.9	168.5	168.5	5.75
4680 μF	95.2	96.4	96.6	96.4	97.1	96.3	4.34
5700 μF	54.0	53.8	55.0	53.5	53.2	53.9	3.25
6500 μF	34.9	35.0	34.7	35.5	35.2	35.1	2.62
8000 μF	13.0	13.3	14.0	12.4	13.0	13.1	1.60
9400 μF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
10700 μF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

表十一

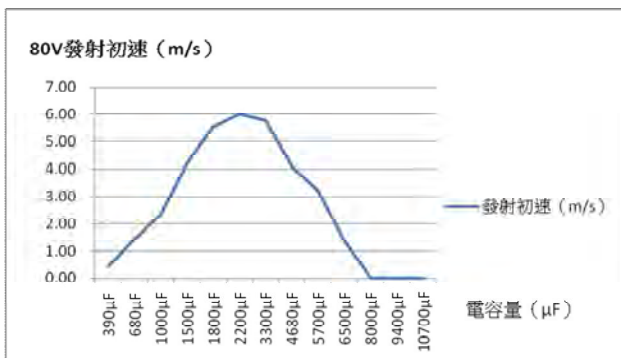


圖三十四

電壓 80 V

電容量(μF)	高度 1 (cm)	高度 2 (cm)	高度 3 (cm)	高度 4 (cm)	高度 5 (cm)	平均高度 (cm)	發射初速 (m/s)
390 μF	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.44
680 μF	11.0	10.0	11.0	10.0	11.0	10.6	1.44
1000 μF	29.2	28.8	28.5	28.6	29.0	28.8	2.38
1500 μF	90.2	88.8	89.5	90.0	89.7	89.6	4.19
1800 μF	155.5	157.0	156.2	156.0	155.6	156.1	5.53
2200 μF	182.8	184.0	184.2	183.3	184.0	183.7	6.00
3300 μF	168.0	170.0	168.0	169.0	167.0	168.4	5.75
4680 μF	84.3	85.6	85.5	85.2	84.4	85.0	4.08
5700 μF	52.0	51.0	52.0	53.0	54.0	52.4	3.20
6500 μF	10.0	9.0	8.0	10.0	11.0	9.6	1.37
8000 μF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
9400 μF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
10700 μF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

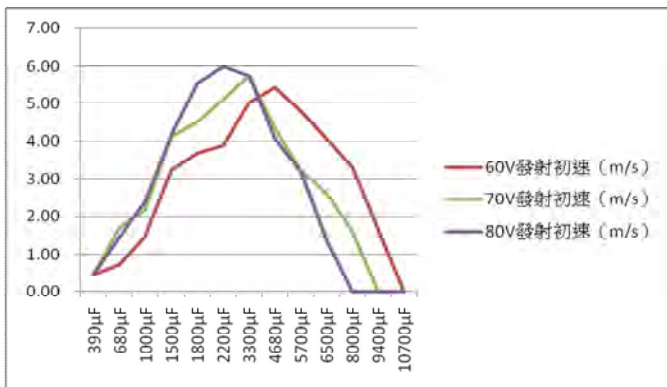
表十二



圖三十五

(一) 固定電壓下，電容量在一定範圍內，發射物有最高速表現。若電容量過大或過小，發射物的速率會減慢，推測原因：電容量太小，流出電流小，無法產生足夠的磁力驅動發射物；電容量太大，在相同電壓下，放電需要較久的時間，使線圈的磁力影響時間加長，當發射物通過減速區時，線圈仍在放電，減速區的磁力作用明顯，導致發射物減速。

(二) 由上述結果可以看出，電壓 60 V 時，發射物最高速率發生在 4680 μF 。電壓 70 V 時，發射物最高速率發生在 3300 μF 。電壓 80 V 時，發射物最高速率發生在 2200 μF 。我們發現，電容量愈小，若要最佳發射，所需要的電壓愈大。如下圖所示。



圖三十六

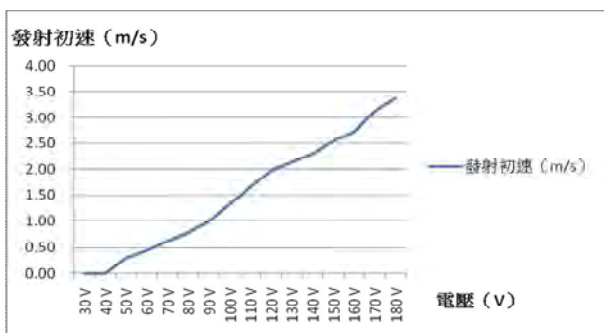
四、不同電壓與發射物速度的關係

(一) 電容量 390 μF

電壓(V)	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
發射高度 1(cm)	0.0	0.0	0.5	1.0	2.0	3.2	4.8	8.8
發射高度 2(cm)	0.0	0.0	0.5	1.0	2.0	3.5	4.8	8.8
發射高度 3(cm)	0.0	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	9.0
發射高度 4(cm)	0.0	0.0	0.5	1.0	2.0	3.5	5.0	9.2
發射高度 5(cm)	0.0	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	5.4	8.8
平均高度(cm)	0.0	0.0	0.5	1.0	2.0	3.2	5.0	8.9
發射初速 (m/s)	0.00	0.00	0.31	0.44	0.63	0.79	0.99	1.32

電壓(V)	110 V	120 V	130 V	140 V	150 V	160 V	170 V	180 V
發射高度 1(cm)	14.2	20.2	23.2	27.2	32.5	38.3	50.2	58.2
發射高度 2(cm)	14.0	20.4	23.5	27.0	33.2	37.8	50.2	57.2
發射高度 3(cm)	13.9	20.1	22.8	26.2	32.8	38.2	49.4	58.0
發射高度 4(cm)	13.6	19.6	22.6	26.8	32.8	38.0	49.8	58.5
發射高度 5(cm)	14.2	20.2	23.2	27.4	33.4	37.8	50.5	57.4
平均高度(cm)	14.0	20.1	23.1	26.9	32.9	38.0	50.0	57.9
發射初速 (m/s)	1.66	1.98	2.13	2.30	2.54	2.73	3.13	3.37

表十三



圖三十七 電容量 390 μF ，電壓與發射初速關係表

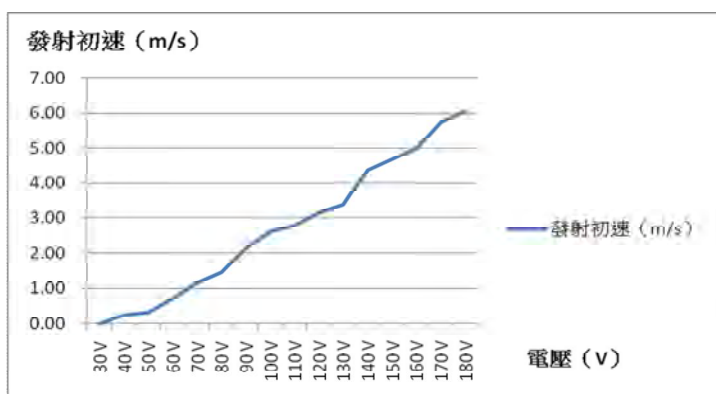
經上表可以觀察到，電容為 680 μF 的狀態下，速率隨著電壓的增加而漸漸變高。

(二) 電容量 680 μ F

電壓(V)	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
發射高度 1(cm)	0.0	0.3	0.5	3.0	7.0	11.0	23.2	34.2
發射高度 2(cm)	0.0	0.3	0.5	2.0	6.0	10.0	23.8	34.5
發射高度 3(cm)	0.0	0.3	0.5	3.0	7.0	11.0	22.8	35.0
發射高度 4(cm)	0.0	0.3	0.5	3.0	7.0	10.0	22.6	35.4
發射高度 5(cm)	0.0	0.3	0.5	2.0	6.0	11.0	23.0	34.0
平均高度(cm)	0.0	0.3	0.5	2.6	6.6	10.6	23.1	34.6
發射初速 (m/s)	0.00	0.24	0.31	0.71	1.14	1.44	2.13	2.60

電壓(V)	110 V	120 V	130 V	140 V	150 V	160 V	170 V	180 V
發射高度 1(cm)	39.6	49.2	58.3	96.5	109.6	127.4	169.0	188.4
發射高度 2(cm)	40.0	51.0	57.8	98.2	111.0	127.2	167.5	186.4
發射高度 3(cm)	40.2	50.5	57.6	97.2	111.6	128.0	168.0	188.0
發射高度 4(cm)	38.0	49.4	58.0	96.8	111.4	128.0	167.8	187.2
發射高度 5(cm)	38.4	51.0	57.4	98.0	109.2	127.0	168.2	188.0
平均高度(cm)	39.2	50.2	57.8	97.3	110.6	127.5	168.1	187.6
發射初速 (m/s)	2.77	3.14	3.37	4.37	4.66	5.00	5.74	6.06

表十四



圖三十八 電容量 680 μ F，電壓與發射初速關係表

(三) 電容量 1000 μ F

電壓(V)	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
發射高度 1(cm)	0.1	0.5	1.0	10.8	23.8	42.5	57.2	84.2
發射高度 2(cm)	0.1	0.5	1.0	11.0	24.2	43.3	57.8	84.6
發射高度 3(cm)	0.1	0.5	1.0	11.6	24.6	43.6	58.4	83.8
發射高度 4(cm)	0.1	0.5	1.0	11.2	23.8	42.8	58.2	84.4
發射高度 5(cm)	0.1	0.5	1.0	10.5	24.0	42.8	58.8	84.0
平均高度(cm)	0.1	0.5	1.0	11.0	24.1	43.0	58.1	84.2
發射初速 (m/s)	0.14	0.31	0.44	1.47	2.17	2.90	3.37	4.06

電壓(V)	110 V	120 V	130 V	140 V	150 V	160 V	170 V	180 V
發射高度 1(cm)	94.8	129.8	153.8	189.8	218.8	275.5	294.0	325.5
發射高度 2(cm)	95.2	131.2	153.5	189.6	218.4	277.0	293.2	325.9
發射高度 3(cm)	95.0	129.5	153.8	190.7	217.8	275.2	292.5	326.8
發射高度 4(cm)	94.4	130.2	154.4	190.0	217.9	275.2	293.0	326.5
發射高度 5(cm)	95.0	131.0	154.2	190.2	217.8	277.4	292.8	325.2
平均高度(cm)	94.9	130.3	153.9	190.1	218.1	276.1	293.1	326.0
發射初速 (m/s)	4.31	5.05	5.49	6.10	6.54	7.36	7.58	7.99

表十五

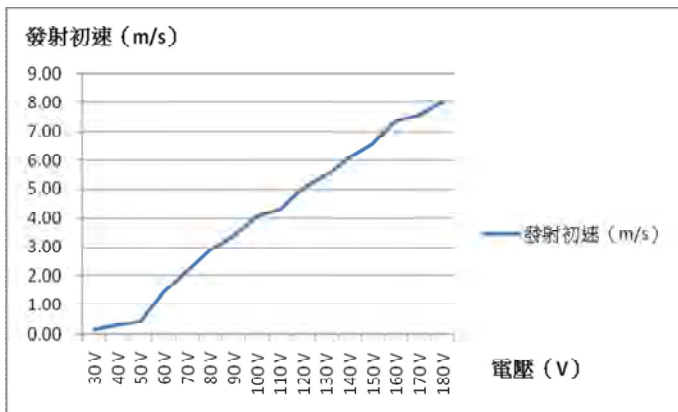


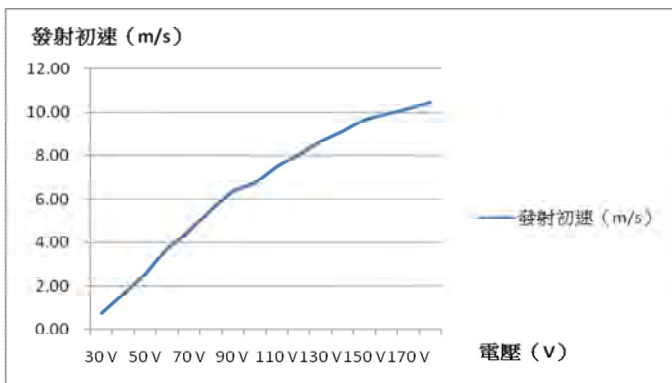
圖 三十九 電容量 $1000 \mu F$ ，電壓與發射初速關係表

(四) 電容量 $1800 \mu F$

電壓(V)	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
發射高度 1(cm)	3.0	12.8	33.6	68.8	103.5	155.6	207.8	230.0
發射高度 2(cm)	3.0	12.8	34.2	68.9	103.2	155.8	208.5	230.4
發射高度 3(cm)	3.0	13.2	34.0	70.2	104.0	155.8	208.6	231.8
發射高度 4(cm)	3.0	13.5	34.6	70.0	103.4	156.8	207.8	229.6
發射高度 5(cm)	3.0	13.0	34.2	69.5	102.5	155.0	208.5	229.5
平均高度(cm)	3.0	13.1	34.1	69.5	103.3	155.8	208.2	230.3
發射初速 (m/s)	0.77	1.60	2.59	3.69	4.50	5.53	6.39	6.72

電壓(V)	110 V	120 V	130 V	140 V	150 V	160 V	170 V	180 V
發射高度 1(cm)	283.4	331.0	382.4	426.0	475.3	503.5	525.5	560.5
發射高度 2(cm)	283.2	331.0	382.5	425.6	475.5	504.3	524.8	562.0
發射高度 3(cm)	284.4	331.3	382.8	425.5	475.2	503.2	526.0	559.5
發射高度 4(cm)	284.5	329.0	384.0	426.4	474.7	505.0	525.5	558.0
發射高度 5(cm)	283.0	330.4	383.4	424.5	474.0	504.3	525.0	560.5
平均高度(cm)	283.7	330.5	383.0	425.6	474.9	504.1	525.4	560.1
發射初速 (m/s)	7.46	8.05	8.66	9.13	9.65	9.94	10.15	10.48

表十六



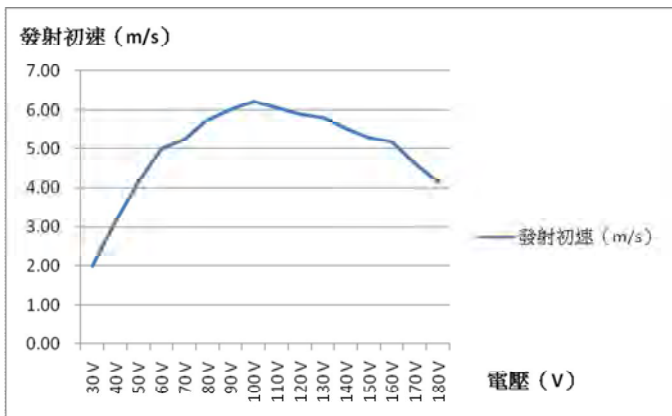
圖四十 電容量 1800 μF ，電壓與發射初速關係表

(五) 電容量 3300 μF ：並聯電容 1800 μF +1500 μF

電壓(V)	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
發射高度 1(cm)	21.0	50.0	86.4	127.5	142.0	168.1	184.0	196.2
發射高度 2(cm)	19.4	48.8	87.5	129.0	141.0	169.2	183.1	198.5
發射高度 3(cm)	20.2	48.6	85.8	128.2	140.2	168.5	185.2	198.1
發射高度 4(cm)	21.0	50.4	88.0	128.0	139.8	169.3	184.2	197.3
發射高度 5(cm)	19.8	49.3	87.1	128.7	140.2	167.7	183.3	198.0
平均高度(cm)	20.3	49.4	87.0	128.3	140.6	168.6	184.0	197.6
發射初速 (m/s)	1.99	3.11	4.13	5.01	5.25	5.75	6.01	6.22

電壓(V)	110 V	120 V	130 V	140 V	150 V	160 V	170 V	180 V
發射高度 1(cm)	188.1	178.0	173.4	155.2	141.9	136.0	108.2	86.4
發射高度 2(cm)	186.4	177.5	174.0	153.4	143.0	137.2	110.0	86.7
發射高度 3(cm)	188.0	178.2	172.4	155.0	144.3	136.3	108.4	88.3
發射高度 4(cm)	186.7	178.1	172.2	153.9	142.0	136.9	109.0	89.0
發射高度 5(cm)	187.0	179.0	172.0	156.4	142.1	136.6	109.2	87.5
平均高度(cm)	187.2	178.2	172.8	154.8	142.7	136.6	109.0	87.6
發射初速 (m/s)	6.06	5.91	5.82	5.51	5.29	5.17	4.62	4.14

表十七



圖四十一 電容量 3300 μF ，電壓與初速圖

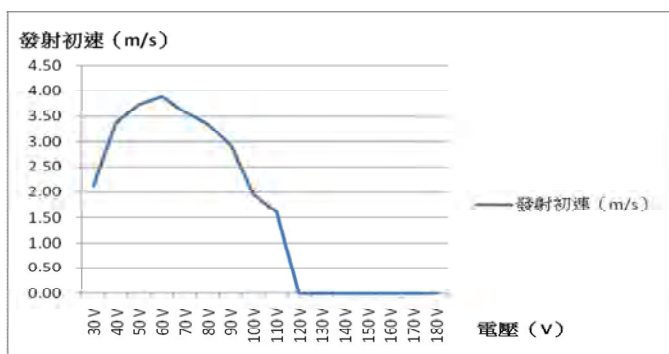
說明：將 1500 μF 與 1800 μF 的電容並聯為 3300 μF ，耐伏為 200 V。由上表可以觀察到，電容為 3300 μF 的狀態下，速率最高之處大約位在電壓 110 V，之後速率往下降。

(六) 電容量 4680 μF ：並聯電容 1800 μF +1500 μF +680 μF

電壓(V)	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
發射高度 1(cm)	22.5	57.5	71.0	77.7	65.0	57.4	44.3	20.5
發射高度 2(cm)	24.4	58.2	70.5	76.3	64.6	58.1	45.0	19.3
發射高度 3(cm)	23.0	57.3	70.2	75.9	66.2	58.3	43.8	19.1
發射高度 4(cm)	22.8	58.4	72.0	77.0	65.9	58.5	43.0	19.0
發射高度 5(cm)	23.0	58.0	71.6	77.2	65.3	55.6	44.3	19.5
平均高度(cm)	23.1	57.9	71.1	76.8	65.5	57.6	44.1	19.5
發射初速 (m/s)	2.13	3.37	3.73	3.88	3.58	3.36	2.94	1.95

電壓(V)	110 V	120 V	130 V	140 V	150 V	160 V	170 V	180 V
發射高度 1(cm)	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
發射高度 2(cm)	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
發射高度 3(cm)	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
發射高度 4(cm)	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
發射高度 5(cm)	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均高度(cm)	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
發射初速 (m/s)	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表十八



圖四十二 電容量 4680 μF ，電壓與速率關係表

實驗結果說明：

- 1.由上述結果可以觀察到，電容量較小（390 μF 、680 μF 、1000 μF 、1800 μF ），發射速率與電壓成正相關，推論為電壓愈大，線圈內的電流愈大，磁力愈明顯，使發射物速度愈大，且電容量小，放電時間短，發射物並未受到減速區的影響。
- 2.電容量增大為 3300 μF 時，電壓 110 V 的發射初速開始下降，電容量 4680 μF 的下降幅度更明顯，表示一旦電容量過大，減速區效果即明顯影響。
- 3.因此，只要適當大小的電容量，配合高電壓，即可讓發射物有較佳的發射初速。若電容量過大，就算電壓大也會受到減速區的影響而減慢發射初速。

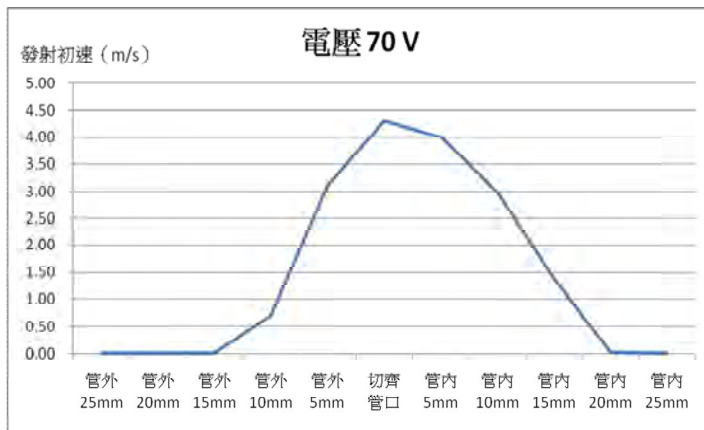
五、發射物的發射位置與速度的關係

(一) 實驗結果如下表：(以長度 4 cm，6 層的線圈來發射)

1.電壓 70 V，發射物的發射位置與速度關係表，如下表十八所示：

	管外 25mm	管外 20mm	管外 15mm	管外 10mm	管外 5mm	切齊 管口	管內 5mm	管內 10mm	管內 15mm	管內 20mm	管內 25mm
水平距離 1(cm)	0.0	0.0	0.2	31.2	134.6	185.4	173.5	129.3	60.1	0.0	反彈
水平距離 2(cm)	0.0	0.0	0.2	30.8	134.2	185.8	173.2	128.8	59.7	0.0	0.0
水平距離 3(cm)	0.0	0.0	0.2	30.9	134.5	185.7	174.4	128.8	59.9	0.0	0.0
水平距離 4(cm)	0.0	0.0	0.2	30.7	133.8	185.8	173.6	129.3	59.6	0.0	0.0
水平距離 5(cm)	0.0	0.0	0.2	31.1	134.9	186.2	173.9	129.5	59.5	0.0	0.0
平均距離 (cm)	0.0	0.0	0.2	30.9	134.4	185.8	173.7	129.1	59.8	0.0	0.0
發射初速(m/s)	0.00	0.00	0.00	0.71	3.10	4.29	4.01	2.98	1.38	0.00	0.00

表十九

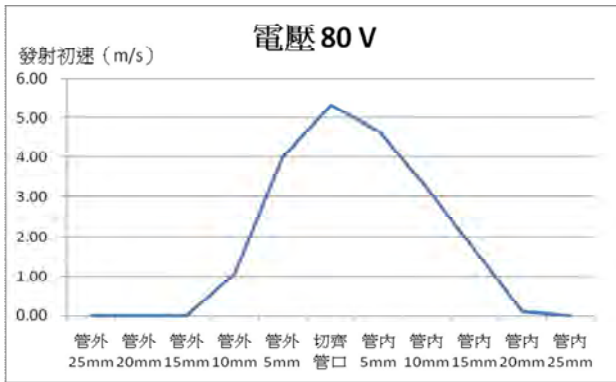


圖四十三

2.電壓 80 V，發射物的發射位置與速度關係表，如下表十九所示：

	管外 25mm	管外 20mm	管外 15mm	管外 10mm	管外 5mm	切齊 管口	管內 5mm	管內 10mm	管內 15mm	管內 20mm	管內 25mm
水平距離 1(cm)	0.0	0.0	0.4	46.3	173.5	230.3	202.1	139.9	73.2	0.0	反彈
水平距離 2(cm)	0.0	0.0	0.4	45.8	173.9	231.1	201.8	140.8	73.1	0.0	0.0
水平距離 3(cm)	0.0	0.0	0.3	45.6	173.2	231.3	202.2	140.3	72.8	0.0	0.0
水平距離 4(cm)	0.0	0.0	0.4	45.7	173.6	230.5	201.9	140.1	73.3	0.0	0.0
水平距離 5(cm)	0.0	0.0	0.4	46.1	173.4	230.4	202.1	140.3	72.7	0.0	0.0
平均距離 (cm)	0.0	0.0	0.4	45.9	173.5	230.7	202.0	140.3	73.0	0.0	0.0
發射初速(m/s)	0.00	0.00	0.01	1.06	4.00	5.32	4.66	3.24	1.69	0.00	0.00

表二十

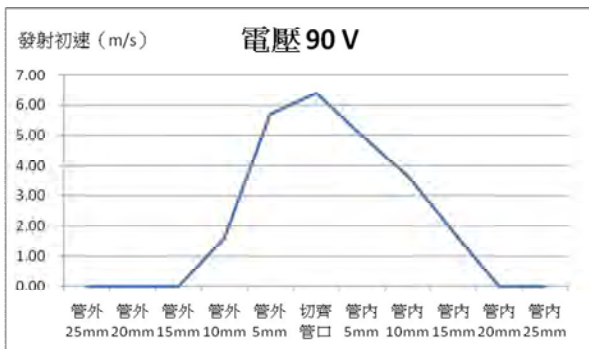


圖四十四

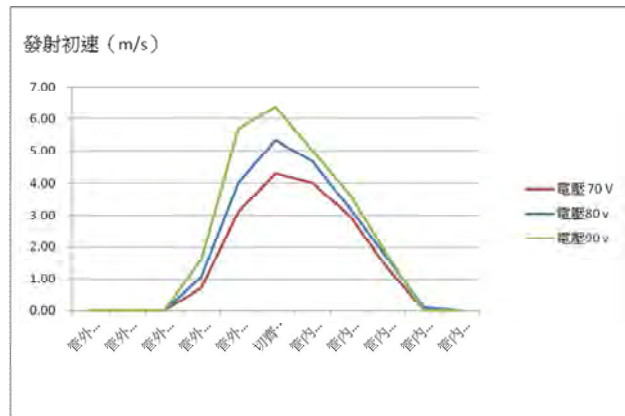
3. 電壓 90 V，發射物的發射位置與速度關係表，如下表二十所示：

	管外 25mm	管外 20mm	管外 15mm	管外 10mm	管外 5mm	切齊 管口	管內 5mm	管內 10mm	管內 15mm	管內 20mm	管內 25mm
水平距離 1(cm)	0.0	0.1	0.4	69.8	247.1	276.5	216.4	159.1	77.3	0.0	反彈
水平距離 2(cm)	0.0	0.1	0.4	70.3	246.4	275.9	215.9	158.6	77.4	0.0	0.0
水平距離 3(cm)	0.0	0.1	0.3	70.2	246.3	276.3	216.5	158.3	76.9	0.0	0.0
水平距離 4(cm)	0.0	0.1	0.4	69.7	246.8	276.2	215.7	158.8	76.8	0.0	0.0
水平距離 5(cm)	0.0	0.1	0.3	69.4	245.9	275.7	216.1	159.4	77.5	0.0	0.0
平均距離 (cm)	0.0	0.1	0.4	69.9	246.5	276.1	216.1	158.8	77.2	0.0	0.0
發射初速(m/s)	0.00	0.00	0.01	1.61	5.69	6.37	4.99	3.67	1.78	0.00	0.00

表二十一



圖四十五



圖四十六 不同電壓下，發射位置與初速圖

4. 由圖四十六可看出，相同電壓下，發射物最佳發射位置為質心切齊線圈管口，也就是說，質心愈接近線圈開口，發射初速愈快。

5. 發射位置超過管外 15 mm，幾乎無發射效果。在管內 20 mm 已是線圈中點，也無發射效果。

6. 相同發射位置，電壓愈高，發射初速愈快。

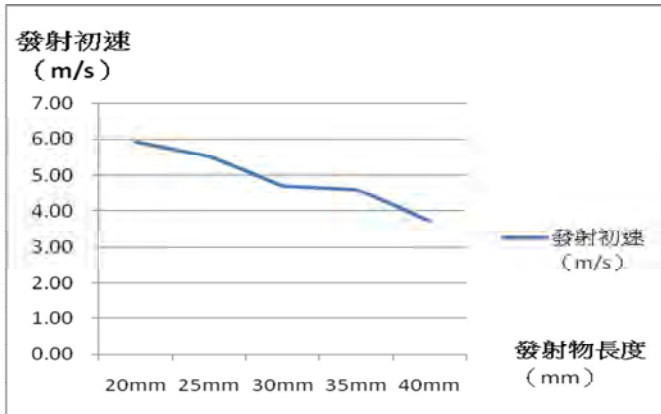
六、發射物質量與速度的關係

(一) 實驗結果如下：

發射物 長度(mm)	發射物 質量 (g)	高度 1 (cm)	高度 2 (cm)	高度 3 (cm)	高度 4 (cm)	高度 5 (cm)	平均高度 (cm)	初速 (m/s)
40 mm	15.8	72.3	72.5	71.8	71.3	71.5	71.9	3.75

35 mm	13.8	109.5	108.4	109.2	108.2	108.0	108.7	4.62
30 mm	11.8	113.2	112.5	114.2	113.6	114.7	113.6	4.72
25 mm	9.8	155.6	155.8	155.8	156.8	155.0	155.8	5.53
20 mm	7.8	179.2	179.8	178.3	178.0	178.9	178.8	5.92

表二十二



圖四十七

實驗結果討論：

由圖四十七可知，發射物的質量越小，發射初速愈大；發射物的質量越大，發射初速愈小。

七、應用在物體的加速裝置和減速裝置。

1. 加速裝置：

	發射 1 (cm)	發射 2 (cm)	發射 3 (cm)	發射 4 (cm)	發射 5 (cm)	平均發射 距離 (cm)	初速 (m/s)
未加速的水平距離 (cm)	74.2	74.0	73.4	75.2	74.8	74.3	1.71
加速的水平距離 (cm)	138.2	138.9	140.3	140.0	139.5	139.4	3.22

表二十三 (計算初速：因裝置置於高度 92 cm 的水平桌上，落下的時間約為 0.43 秒，將水平距離÷0.43 可得發射初速)

(1) 結果討論：經加速裝置作用，發射物初速明顯有增加，可證明將紅外線感應器加裝於線圈前端，具有明顯加速效果。

2. 減速裝置：(鐵質物垂直自由落下)

鐵質圓棒長度(cm)	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm
可吸住的落下 最大高度 (cm)	吸不住	吸不住	74.0	98.0	215.0	120.0	86.0	56.0	35.0

表二十四

(鐵質圓棒直徑固定為 8 mm)

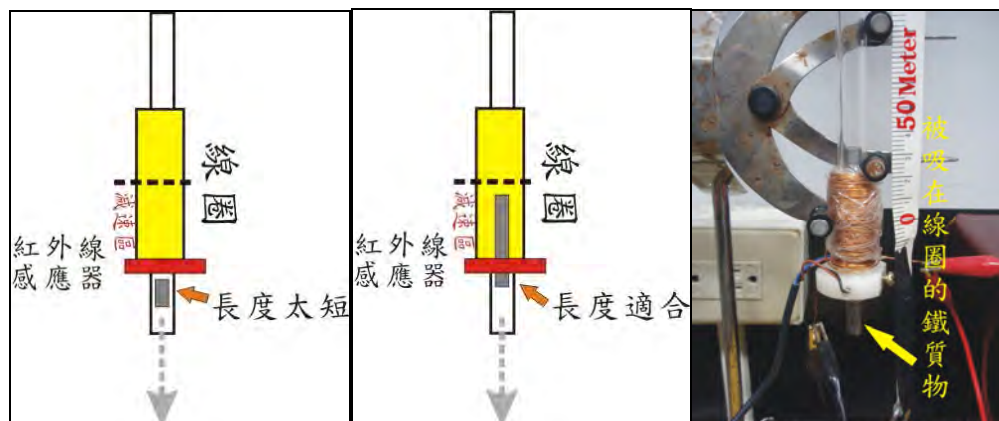
結果討論：

(1) 經減速裝置作用，發現長度 2 cm 與 3 cm 的鐵質圓棒，無論高度如何變化都吸不住，推論為鐵質圓棒的長度太短，當觸動線圈(長 4 cm)底端的紅外線開關時，已經通過減速區向下掉落，無法有效減速。如下說明圖所示：

(2) 鐵質圓棒長度 4 cm~7 cm，則有明顯的減速、煞車效果，因為當觸動線圈底端的紅外線開

關時，仍有足夠的長度在線圈內部的減速區，可被磁力吸住。

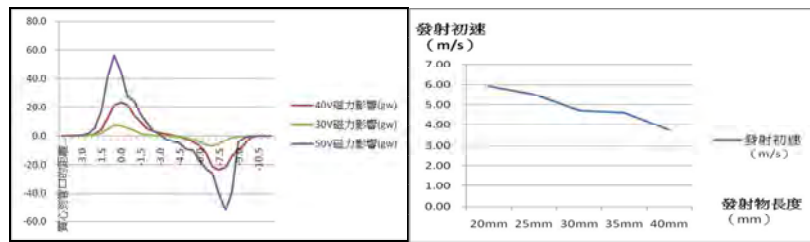
(3)鐵質圓棒長度愈長，減速效果會減弱，推測為鐵質圓棒長度增加，重量也增加，無法被磁力有效吸住。如下圖四十八所示：



圖四十八

陸、討論

- 一、線圈砲的發射必須有許多變因的掌控，包含電壓高低、電容大小、發射物發射位置、發射物形狀、線圈長度與纏繞方式等，而通電時間的長短會影響線圈變熱，增大電阻而影響磁力。因此每次的實驗，就算控制變因都掌握住，常會發生實驗數據不一的現象，例如垂直方向的向上發射，連續發射次數增多，發射物的發射高度就會降低，我們推測原因為線圈過熱，造成線圈的電阻變大；在固定電壓之下，發射物的發射高度就會無法達到原本的高度。需要等線圈冷卻，或以另一個相同線圈代替實驗。因此，實驗中常花大量時間在多測幾次實驗，或換置相同線圈、電容、發射物以重做實驗。
- 二、在研究目的二，測試線圈磁力分佈時，因通電的電壓高，使線圈流經電流大而容易過熱，所以每次測到電子秤上有穩定的讀數變化（減輕或加重），需立即切斷開關並記錄數據。
- 三、實驗室的電源供應器直接將交流電轉為直流電，沒有經過濾波，因此電壓無法穩定，無法確定真正供應的電壓。若此電波波峰之電壓約為 50 V，而此電波波谷之電壓約 10 V，則平均值為 30 V，此數 30 V 便是電源供應器上的所顯示數字，三用電表上也會顯示 30 V 此平均值。也就是說電源供應器上顯示的電壓為電波波峰電壓與電波波谷電壓之平均值；但加了電容就會有濾波的功能，藉此穩定電壓。
- 四、實驗中，發射物在發射前須以消磁器消磁，否則發射物在發射後，會磁化而帶有磁力，影響下次的實驗結果。
- 五、實驗中，漆包線上的鍍漆，必須先以砂紙刮除，否則會因為鱷魚夾與銅線的接觸不良而產生火花，造成危險。
- 六、由研究目的二可知，線圈內物體的質量愈大，磁化愈明顯，所受磁力愈大，但是研究目的六顯示，質量愈大的物體，發射初速愈慢，磁力與物體質量大小的關係，仍然需要進一步探討。



研究目的二結果

研究目的六結果

柒、結論

- 一、同質量的鐵質物，長度比例愈細長（長度愈長，截面積愈小），所受磁力愈大，在線圈開口附近受到磁力影響範圍也愈大。推論為較長比例的鐵質圓柱體，側邊有較大的環狀表面積，在線圈的磁場中，因而產生較大的感應電流。
- 二、電壓愈大，鐵質物所受磁力明顯愈大。
- 三、在相同電壓之下，線圈長度要短，使電阻小，電流大，磁力會增大，發射效果較佳。
- 四、線圈內，鐵質物所受磁力明顯發生在線圈兩端開口附近，內部中點幾乎無明顯磁力作用。而物體進入線圈時被拉向線圈中點，離開線圈時也被拉回線圈中點，兩者磁力方向相反，磁力的大小接近。這兩種磁力可解釋線圈砲發射物在線圈內部所受到的加速與減速作用。線圈前半段對發射物為加速區；後半段對發射物為減速區。
- 五、固定電壓下，電容量在一定範圍內，發射物有最高速表現。若電容量過大或過小，發射物的速率會減慢。而電容量愈小，若要最佳發射，所需要的電壓愈大。
- 六、電容量較小（ $390 \mu F \sim 1800 \mu F$ ），發射速率與電壓成正相關，電壓愈大，磁力愈大，發射物速度愈大。但電容量增大為 $3300 \mu F$ 以上，發射物的發射初速會下降，表示電容量一旦過大，會受到減速區的影響。因此電容量只要適當大小，配合高電壓，即可讓發射物有較佳的發射初速。
- 七、相同電壓下，質心愈接近線圈開口，發射初速愈快；而相同發射位置，電壓愈高，發射初速愈快。
- 八、發射物的質量越小，發射初速愈大；發射物的質量越大，發射初速愈小。

捌、參考資料及其他

一、參考資料

- 中華民國第 49 屆中小學科學展覽會-國中組物理科-中點魔法師
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030112.pdf>
- 中華民國第 50 屆中小學科學展覽會-高中組物理科-電磁砲
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/040111.pdf>
- iHao 論壇-高能武器-電磁砲系列，取自 <http://www.ihao.org/dz5/thread-136436-1-1.html>
- Barry's Coilgun Design Site, from <http://www.coilgun.info/about/home.htm>
- Wikipedia, the free encyclopedia-Coilgun, from http://en.wikipedia.org/wiki/Gauss_rifle

二、附件（橘色部分為線圈內部） 電壓 30 V

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.0	0.2	0.5	2.1	4.7	7.4	7.0	5.5	3.9
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	1.7	0.8	0.3	0.0	-0.2	-0.4	-0.8	-1.3	-2.7
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	-4.5	-6.7	-7.3	-5.9	-3.3	-1.4	-0.4	-0.1	-0.1
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	-15.5	-16.0	-16.5	-17.0	-17.5	-18.0			
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

電壓 40 V

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.2	0.3	1.2	4.6	12.3	21.2	23.4	21.6	14.1
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	9.6	5.2	3.2	2.0	1.1	0.1	-0.7	-2.4	-4.4
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	-6.9	-12.3	-21.2	-23.4	-21.6	-14.1	-10.4	-5.7	-1.0
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	-15.5	-16.0	-16.5	-17.0	-17.5	-18.0			
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

電壓 50 V

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.5	1.8	5.1	17.5	41.7	56.4	44.9	27.9	24.6
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	14.7	8.9	3.4	0.8	-2.7	-4.0	-5.4	-9.5	-10.2
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	17.5	41.7	56.4	44.9	27.9	24.6	14.7	-1.3	-0.3
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

線圈長度：6 cm

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.1	0.3	1.0	1.8	4.6	12.3	18.9	14.7	7.6
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	4.7	3.8	1.3	-0.3	-1.8	-3.6	-7.0	-12	-15
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	-18.0	-14.0	-13.1	-3.5	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

線圈長度：8 cm

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.0	0.2	0.2	1.0	3.4	10.6	13.9	14.2	6.1
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	3.0	1.8	1.1	0.9	0.4	0.0	-0.5	-0.9	-1.0
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	-4.3	-7.8	-13.1	-14.3	-10.2	-3.1	-0.8	-0.2	0.0
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	-15.5	-16.0	-16.5	-17.0	-17.5	-18.0			
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			

線圈長度：10 cm

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.0	0.1	0.3	0.8	3.2	10	7.4	4.8	3.1
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	2.0	1.0	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.3
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	-1.1	-1.5	-2.6	-4.3	-8.0	-12	-12.2	-7	-2.7
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	-0.8	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

線圈長度：12 cm

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.1	0.1	0.3	1.5	3.8	6.4	7.4	5.4	3.2
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	2.0	1.2	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	0.1	-0.2	-0.2	-0.5	-0.6	-1.0	-1.3	-2.0	-2.6
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	-5.1	-7.3	-8.6	-7.6	-3.5	-1	-0.2	0.0	0.0

線圈長度：14 cm

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.0	0.2	0.8	1.7	3.5	7.0	7.1	3.9	1.1
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	0.1	0.1	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	-0.4	-0.5	-1.0	-1.8	-3.6	-7.0	-6.2	-2.1	-1.7
質心到管口的距離(cm)	-15.5	-16.0	-16.5	-17.0					
磁力影響(gw)	-0.7	-0.2	-0.1	0.0					

線圈長度：16 cm

質心到管口的距離(cm)	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5
磁力影響(gw)	0.1	0.1	0.2	0.7	2.3	5.8	6.2	3.9	2.0
質心到管口的距離(cm)	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0
磁力影響(gw)	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3
質心到管口的距離(cm)	-6.5	-7.0	-7.5	-8.0	-8.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.5
磁力影響(gw)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.0	0.0
質心到管口的距離(cm)	-11.0	-11.5	-12.0	-12.5	-13.0	-13.5	-14.0	-14.5	-15.0
磁力影響(gw)	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-1.5	-1.9	-3.6	-5.9
質心到管口的距離(cm)	-15.5	-16.0	-16.5	-17.0	-17.5	-18.0			
磁力影響(gw)	-5.5	-3.0	-0.9	-0.4	-0.1	0.0			

【評語】 030111

1. 本作品以自製線圈及相關電容充放電等電路，並能從事數項變因改變實驗，得到可歸納性結果。
2. 建議從事科展研究應對相關物理原理與理論研閱明白，並據以分析實驗現象與結果。
3. 鼓勵應持續努力，改進作品深入探討。