

花蓮縣第66屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科（一）

組 別：國小 B 組

作品名稱：單級與多級電磁線圈發射器之探討

關 鍵 詞：電磁砲、發射器、多級發射器

編 號：

單級與多級電磁線圈發射器之探討

摘要

本研究探討了影響單級與多級電磁線圈發射器發射高度的因素。透過逐步改良硬體架構的方式，克服電壓不穩、線圈密度不均及磁化反拉等問題。研究發現，在本研究的實驗環境下，單級系統中，發射物長度以2 cm 最佳，線圈長度以3 cm 表現最穩定，線規越粗則電阻力越小，以22號線發射最高。

此外，研究也發現並非電壓越高或圈數越多就越好。在特定環境下，過高電壓（如65V）會因放電時間過長產生「反拉」現象而降低高度。在多級系統中，光敏電阻距離越短越能精確控制放電時機，且線圈間距維持3 cm 可有效減少磁場干擾。最後，研究歸納出多級發射的最佳配置建議，也提出「能精確控制放電時機」是提升單級與多級發射器性能的核心關鍵。

（本文中之所有照片或圖片均由作者拍攝或繪製）

壹、研究動機

有一次，我們在找尋專題研究的題目時，在網路上看到有人製作了一個簡單的電磁線圈砲，那時我們覺得很好玩，想當作我們小組的研究題目。但是我們在查閱相關資料後，發現裡面包含了太多我們不懂的知識，例如電壓、電容、電流方向、電磁感應等，還要動手焊接，這對於剛接觸電磁的我們來說，是巨大的挑戰，於是我們就放棄了這個想法。

後來我們聽到讀國中的學長姐們要研究如何將火箭發射升空，當時我們就產生了一個想法，看看能不能利用電磁線圈砲的原理，先將火箭發射出去後，火箭再開始點火。我們在與老師討論過後，認為一些相關的專業知識可以邊做邊學，而一些需要專業焊接的設備，可以買半成品來組裝，我們只要專注學習電磁線圈發射器的知識，找出影響電磁線圈器發射高度的因素，並應用找到的原理，改善電磁線圈發射器的發射高度就可以了。因此，我們便開始進行了研究。

貳、研究目的

一、探討影響單級電磁線圈發射器發射高度的因素。

- (一) 探討放電後不同充電時間對發射高度的影響。
- (二) 探討發射物離線圈不同距離對發射高度的影響。
- (三) 探討不同發射物長度對發射高度的影響。
- (四) 探討不同線圈圈數對發射高度的影響。
- (五) 探討不同線圈長度對發射高度的影響。
- (六) 探討不同線規大小對發射高度的影響。
- (七) 探討不同微法拉的電容對發射高度的影響。
- (八) 探討不同電壓對發射高度的影響。

二、探討影響多級電磁線圈發射器發射高度的因素。

- (一) 探討 2 級線圈時，不同光敏電阻距離對發射高度的影響。
- (二) 探討 2 級線圈時，不同線圈距離對發射高度的影響。
- (三) 探討 3 級線圈時，不同光敏電阻距離對發射高度的影響。
- (四) 探討 2 級線圈時，不同電壓對發射高度的影響。
- (五) 探討 3 級線圈時，不同電壓對發射高度的影響。

參、研究設備及器材

一、低壓電磁線圈發射器

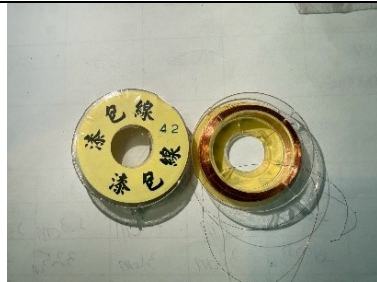
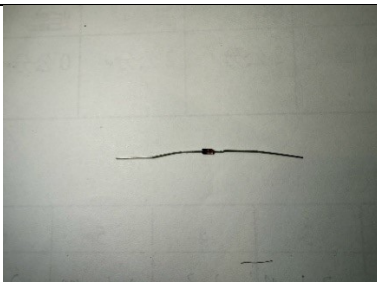
電阻 1K、開關、線圈、穩壓二極體、USB電線、束線帶、塑膠砲管、電池盒、升壓模組、電容、小鋼條砲彈、排針。

二、多級電磁線圈發射器

已焊接好之電磁砲主體、DC-DC 升壓模塊、線規22漆包線、小鋼條砲彈、光敏電阻、電壓表、線規22號線圈、線規21號線圈、線圈骨架、塑膠發射管。

三、其他材料

麵包板、單芯線、杜邦線、空線圈骨架、自製發射架、塑膠板、三用電表、焊槍、焊錫、線規32號漆包線、線規42號漆包線、手機、直尺、束帶、開關、DC-DC 升壓模組、10000 μ F 電解電容（35V，50V，80V）、長尾夾、雙面膠、快速接頭、絕緣膠帶、電工鉗、可調式電源供應器。

		
圖1 線規22號漆包線	圖2 線規32號漆包線	圖3 線規42號漆包線
		
圖4 三用電表	圖5 焊槍、焊錫	圖6 單芯線、杜邦線
		
圖7 電工鉗	圖8 整流二極體	圖9 絕緣膠帶

肆、研究過程或方法

一、單級電磁線圈發射器

(一) 我們先按照購買的低壓電磁線圈發射器說明書組裝低壓電磁線圈發射器，在焊接零件前先請有水電背景的家長講解焊接要點與技巧，等大家熟悉之後，在家長與學生一對一的指導下進行焊接。

(二) 我們利用焊接好的發射器進行實驗一的操作，發現焊接點容易鬆脫、進行垂直發射困難，線圈更換困難以及高度起伏過大的問題，於是決定自製發射器。



圖10 初次練習使用焊接及焊錫

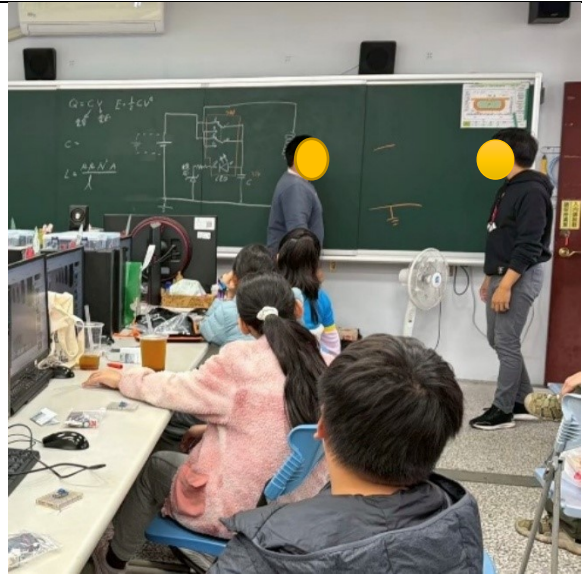


圖11 家長講解焊接要點與技巧

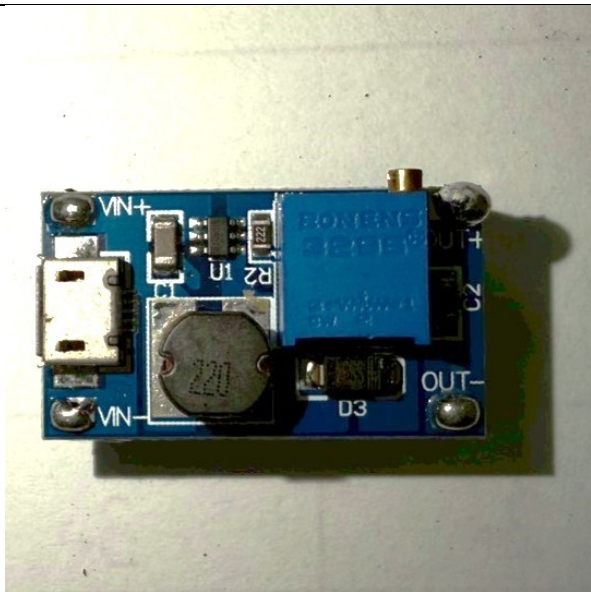


圖12 焊接完成的升壓板

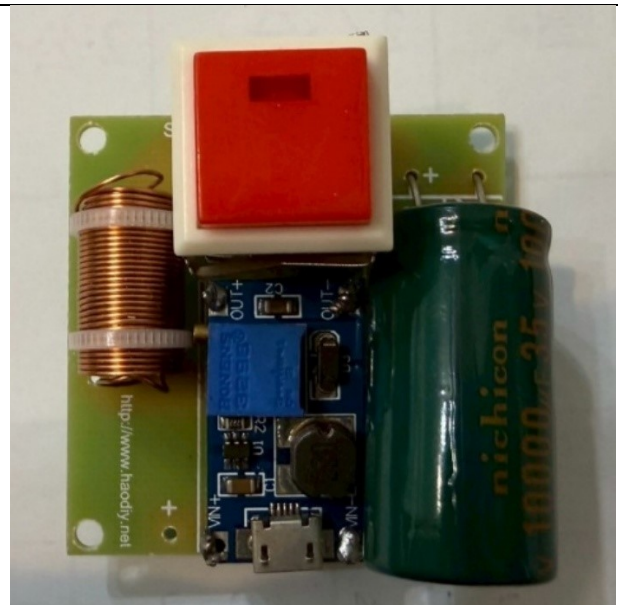
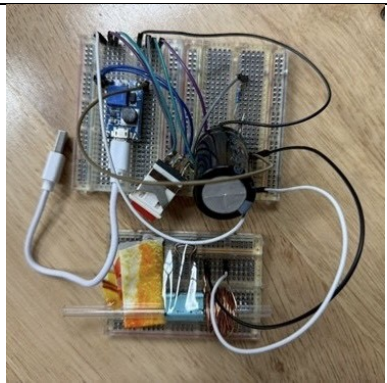
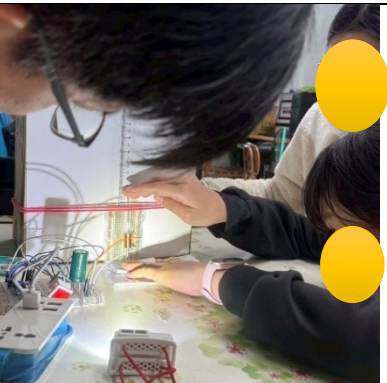
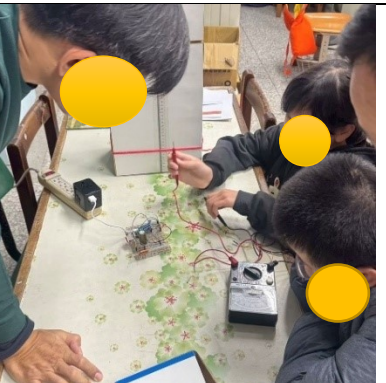
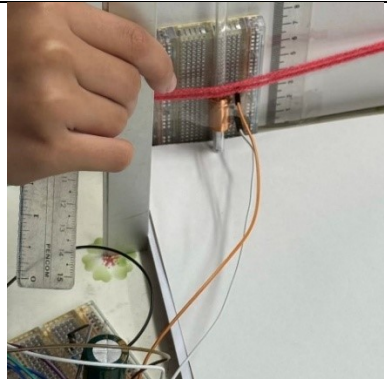
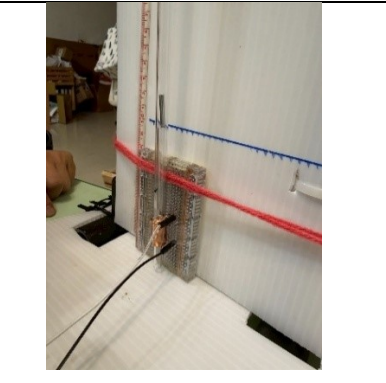


圖13 初代版本完成

(三) 我們利用麵包板與杜邦線自製了第二代低壓電磁線圈發射器，將所有設備接在麵包板上，發射線圈則獨立出來以便於操作。接著進行實驗一的操作。我們發現第二代的低壓電磁線圈發射器還是容易出現接線掉落、或是因接線與麵包板接觸不良，而必須常常找斷點，以及發射高度極不穩定的情形，因此我們決定再度進行改良。

		
圖14 第二代電磁線圈發射器	圖15 發射前調整管線位置	圖16 發射前量測電壓數值
		
圖17 發射前確認高低位置	圖18 線路不良查修	圖19 嘗試發射

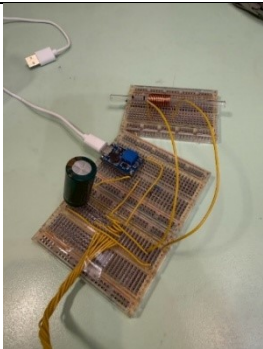
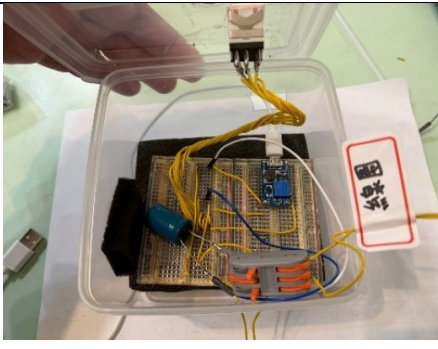
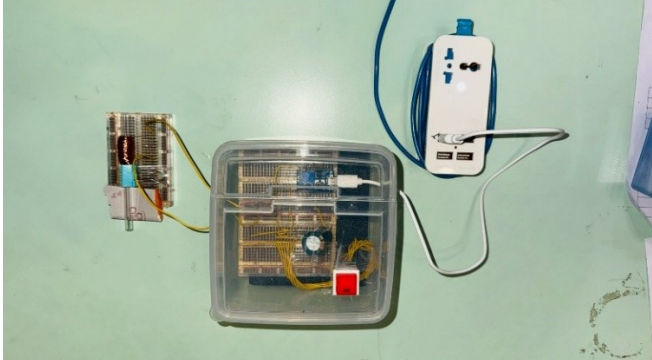
(四) 我們捨棄杜邦線，全部改由單芯線連接，在接完線確定可以發射後，再將單芯線焊接在麵包板上，並將整個發射器安裝在盒子裡。此外，我們在查閱資料後，發現第二代低壓電磁線圈發射器會產生發射高度極不穩定的情形，原因有可能有以下四點：

1. 充電時間不一致導致電流強度不同，進而影響發射高度。
2. 發射物可能因產生磁力而與線圈的磁場排斥。
3. 線圈可能有殘留的電流，因而讓線圈產生反拉的現象。
4. 充電電池有可能因蓄電量不足，導致電流大小有不一致的情形。

在查閱資料後，我們決定依照下面的方式改善低壓電磁線圈發射器，讓發射高度趨於穩定：

- 1.在發射線圈處並聯一個高速整流二極體（FR607），以達到續流放電的作用。
- 2.在每一次發射完就更換發射物，以避免發射物因磁化而干擾實驗結果。
- 3.固定電容充電時間，讓電容充分蓄滿電流。
- 4.使用可調式電源供應器以提供穩定的電源。

在經過測試後，發現發射高度極不穩定的情形已經改善，於是我們就完成了第三代低壓電磁線圈發射器。

		
圖20 利用單芯線固定在麵包板上	圖21 發射器安裝在盒子裡	圖22 固定電容充電時間
		
圖23 高速整流二極體（FR607）	圖24 第三代發射器完成圖	
		
圖25 更換彈頭並使用消磁器	圖26 原本利用18650電池供電	圖27 使用可調式電源供應器

（五）在完成第三代低壓電磁線圈發射器後，便開始進行放電後不同的充電時間、發射物離線圈不同距離，及不同發射物長度對發射高度的實驗。第三代低壓電磁線圈發射器在前幾個實驗都能順利操作，但在探討不同線圈圈數、不同線圈長度、不

同線規大小、不同微法拉的電容與不同電壓的實驗時，都產生發射物無法發射出去的問題。經過討論與查閱資料後，我們認為第三代低壓電磁線圈發射器會產生發射物無法發射出去的問題，原因有以下兩點：

- 1.可能是因電壓過低的因素，無法產生足夠的磁力。
- 2.可能因線圈是手動纏繞的，造成線圈密度不平均的因素而導致無法發射出去。

因此，我們決定製作第四代電磁線圈發射器，希望進行以下的改善：

- 1.將發射線圈更換成機器纏繞的線圈，以避免因線圈密度不平均而影響實驗。
- 2.將升壓模組更換可以高電壓升壓模組，以提供較高的電壓，產生足夠的磁力。
- 3.調整接線的方式，使用快速接頭，以利我們更換電容。



圖28 不同發射物長度彈頭



圖29 不同線規大小



圖30 不同微法拉的電容

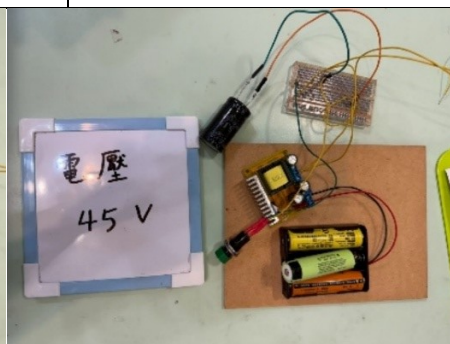
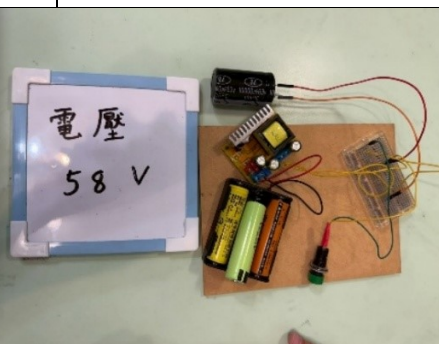
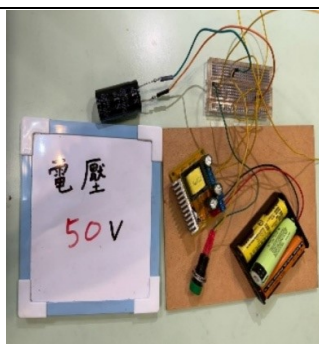


圖31 不同電壓，由左至右依序為：50V、58V、45V

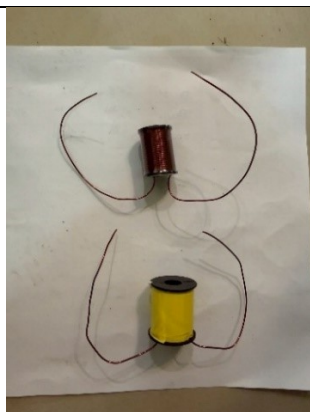


圖32 機器纏繞的線圈



圖33 不同長度的線圈

(六) 在完成第四代電磁線圈發射器，也確認電磁線圈發射器可以穩定的運作後，我們便重新開始進行發射物離線圈不同距離、不同發射物長度、不同線圈圈數、不同線圈長度、不同線規大小、不同微法拉與不同電壓的實驗。第四代電磁線圈發射器都能順利操作，但發現原先的高度板長度不夠，因此自製了第二代高度板。

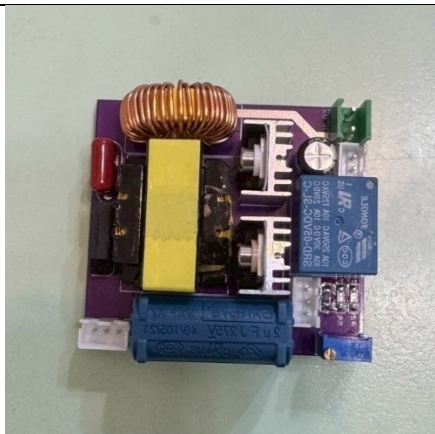


圖34 高壓升壓板模塊

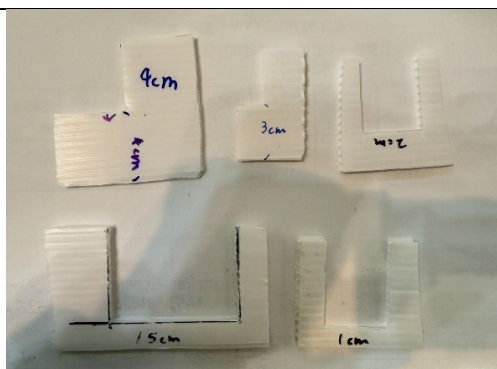


圖35 架高板

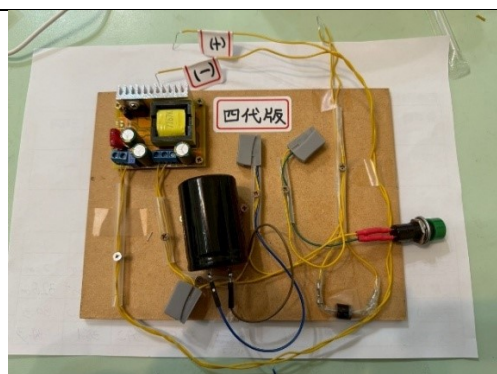


圖36 第四代版（完成）



圖37 第二代高度板

圈位置)

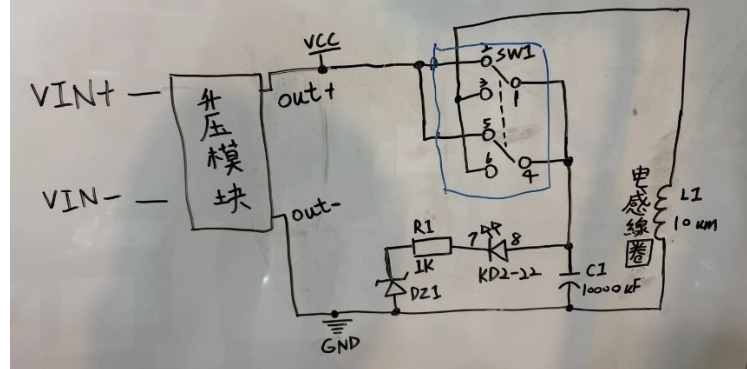


圖38 初代-二代-三代之手繪電路圖

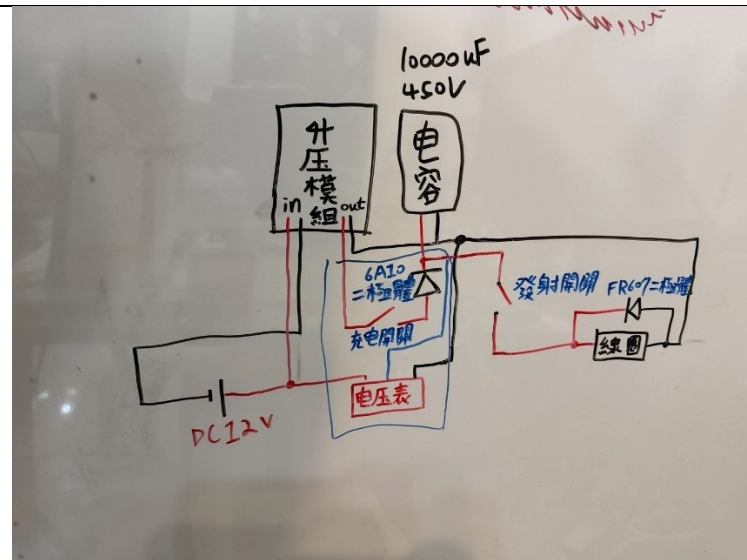


圖39 手繪四代電路圖

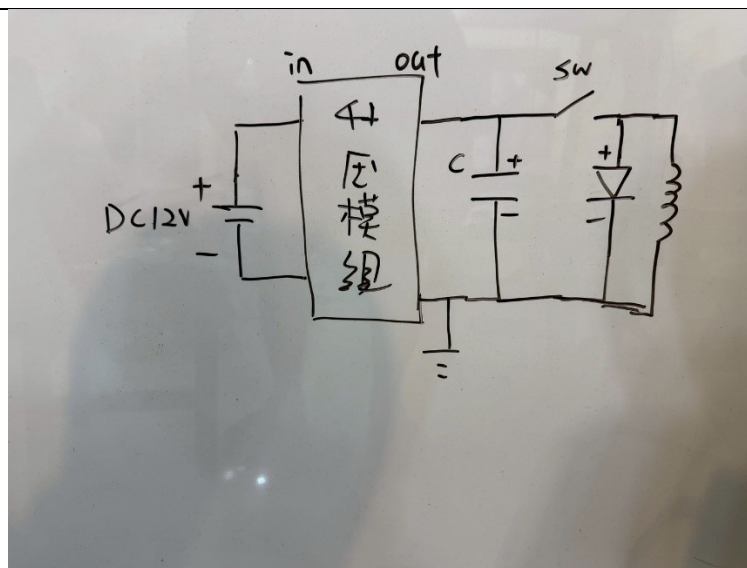


圖40 四代電路圖簡化版本之手繪圖

二、多級電磁線圈發射器

(一)我們先按照說明書組裝所購買的多級電磁線圈發射器，接著將電壓調整到45V 後進行第一次試射，發現線圈接點容易因短路而產生火花的情形，於是我們使用單芯線延長線圈接點，並將線圈接點焊死以避免短路，再用快速接頭連接線圈，以達到更換線圈、調整線圈距離的目的。

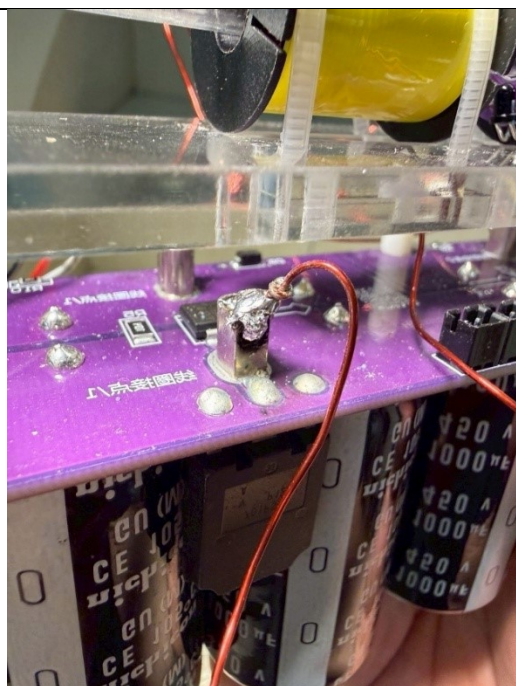


圖41 線圈接點焊死

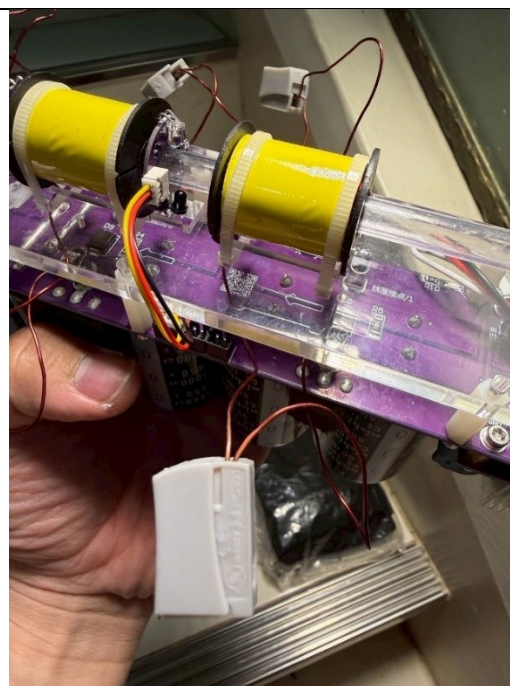


圖42 快速接頭連接線圈

- (二) 經過測試，我們發現即使將電壓降到升壓板的最低電壓45V 時，如果發射超過3級以上的線圈，都一定會超過第二代長度板，因此，我們的實驗就只測試到3級。
- (三) 在探討3級線圈時，不同線圈距離對發射高度的實驗時，發射高度都一定會超過第二代長度板，因此，我們的實驗就只測試到2級。
- (四) 由於所購買的多級電磁線圈發射器已經可以調節電壓，因此當達到測試電壓時就可以發射，不用等待充電時間。
- (五) 在確認裝置穩定後，便開始進行不同光敏電阻距離、不同線圈距離、不同線圈圈數、不同電壓的實驗。

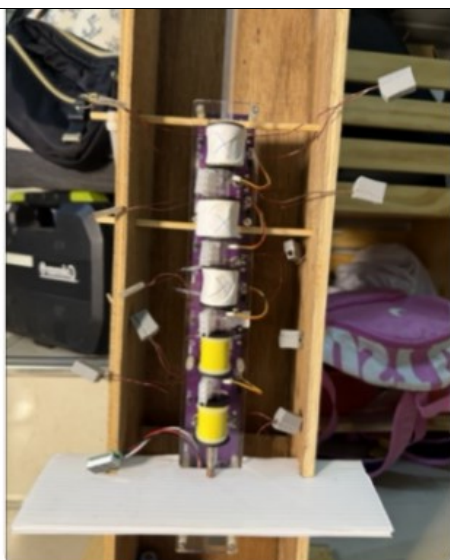


圖43 不同電壓（2級線圈）



圖44 不同電壓（3級線圈）



圖45 不同光敏電阻距離（2cm）



圖46 不同光敏電阻距離（0cm）



圖47 不同線圈級數



圖48 不同線圈級數(利用膠帶 X 區別無用線圈)

伍、研究結果

一、單級電磁線圈發射器

實驗一：放電後不同充電時間對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
26V	35V 10000 μ F	22號	100圈	2公分	2公分	0公分	變因

（二）實驗結果

表1 不同充電時間之發射高度統計表（單位：公分）

充電時間	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
0秒	2	2	2	2.3	2.6	2.3	2
10秒	33	32	31	32.5	31.5	31	32.5
20秒	34	33	31.5	32	31.2	32.5	32
30秒	33	34	35.2	33.5	34.2	35.1	34.3

實驗二：探討發射物離線圈距離對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
46V	80V 10000 μ F	21號	196圈	2.5公分	2公分	變因	放電後10 秒

（二）實驗結果

表2 不同發射物離線圈距離之發射高度統計表（單位：公分）

發射物離 線圈距離	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
1公分	5	5	5	5.6	5.7	7.1	6.2
0公分	98	101	97.1	94.5	96.1	94	93
-1公分	18.1	19.2	20	19	20.2	19.3	18.5

實驗三：探討發射物長度對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
46V	80V 10000 μ F	21號	196圈	2.5公分	變因	0公分	放電後10 秒

（二）實驗結果

表3 不同發射物長度之發射高度統計表（單位：公分）

發射物長度	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
1公分	71.4	72.5	73.1	74.4	73.8	74.1	71.9
2公分	94	90	90	89	92.5	89	89.5
3公分	87.5	86.7	88.3	86.8	88.1	87.3	87
4公分	82.9	83.2	82.8	84.7	84.3	83.8	83.4

實驗四：探討線圈圈數對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
46V	80V 10000 μ F	32號	變因	2公分	2公分	0公分	充電時間 放電後10 秒

（二）實驗結果

表4 不同線圈圈數之發射高度統計表（單位：公分）

線圈圈數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
300圈	16.1	15.7	15.9	16.1	16.2	15.7	15.8
400圈	11.2	11.4	11	11.5	11.1	11.3	11.4
500圈	4.2	4	4.3	4.8	4.8	4.7	4.4

實驗五：探討線圈長度對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
46V	80V 10000 μ F	32號	196圈	變因	2公分	0公分	充電時間 放電後10 秒

（二）實驗結果

表5 不同線圈長度之發射高度統計表（單位：公分）

線圈長度	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
1公分	6.9	7.4	7.3	6.8	7.2	6.7	7.6
2公分	16.9	17.1	16.7	16.8	17	17.2	16.6
3公分	23.6	23.2	23.7	23.5	23.6	23.3	23.7
4公分	15.3	15.7	16.6	15.6	15.3	15.8	15.5
5公分	15.2	15.5	16.1	15.6	15.9	15.8	15.4
6公分	15.7	16.1	16.5	15.7	16.2	16	15.2

實驗六：探討線規大小對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
46V	80V 10000 μ F	變因	300圈	2公分	2公分	0公分	放電後10 秒

（二）實驗結果

表6 不同線規大小之發射高度統計表（單位：公分）

線規大小	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
22號	68.1	64.5	64.5	62.7	66.2	66.1	67.1
32號	8.9	8.7	8.6	9.1	9.3	9.2	9.1
42號	0	0	0	0	0	0	0

實驗七：探討在較低微法拉的情形下，發射物距線圈距離對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
26V	35V 1000 μ F	22號	100圈	2公分	2公分	變因	放電後10 秒

（二）實驗結果

表7 使用1000 μ F 的電容，發射物離線圈距離之發射高度統計表（單位：公分）

發射物離 線圈距離	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
1公分	0	0	0	0	0	0	0
0公分	3	3	3.2	3.5	3.3	3.6	3.4
-1公分	42	47.5	58	47	39.5	49	38.2

實驗八：探討在較高微法拉的情形下，不同電壓對發射高度的影響（一）

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
變因	80V 10000 μ F	21號	196圈	2.5公分	2公分	0公分	放電後10 秒

（二）實驗結果

表8 使用10000 μ F 的電容，不同電壓之發射高度統計表（單位：公分）

電壓	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
45V	95	91	93.9	96	92	92	90
55V	102	107	105	109	103	103	102.1
65V	81	86	77	78	85	85	87.1

實驗九：探討在較低微法拉的情形下，不同電壓對發射高度的影響（二）

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	距線圈	充電時間
變因	80V 1000 μ F	21號	196圈	2.5公分	2公分	0公分	放電後10秒

（二）實驗結果

表9 使用1000 μ F的電容，不同電壓之發射高度統計表（單位：公分）

電壓	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
45V	24	29.5	20.1	23.5	23.4	21.1	23
55V	27.8	30.3	26.8	29.9	28.2	26.7	30.2
65V	51.3	49.7	53.5	55	52.6	51.7	53.8

二、多級電磁線圈發射器

實驗十：探討2級線圈時，不同光敏電阻距離對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	離線圈距離	光敏電阻距離	線圈間的距離
50V	450V 1000 μ F	22號	180圈	2.5公分	3公分	-1.5公分	變因	2公分

（二）實驗結果

表10 不同光敏電阻距離，發射物離線圈距離之發射高度統計表（單位：公分）

光敏電阻距離	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
0公分	103	95	92	94	97	99	100
1公分	91	87	88	87	86	86	89
2公分	82	83	87	86	84	85	83

實驗十一：探討3級線圈時，不同光敏電阻距離對發射高度的影響

（一）實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	離線圈距離	光敏電阻距離	線圈間的距離
50V	450V 1000 μ F	22號	180圈	2.5公分	3公分	-1.5公分	變因	2公分

（二）實驗結果

表11 3級線圈時，不同光敏電阻距離之發射高度統計表（單位：公分）

光敏電阻距離	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
0公分	120	121	116	115	119	114	117
1公分	86	92	89	86	92	87	91
2公分	79	81	81	78	82	80	78

實驗十二：探討2級線圈時，不同線圈距離對發射高度的影響

(一) 實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	離線圈距離	光敏電阻距離	線圈間的距離
50V	450V 1000 μ F	22號	180圈	2.5公分	3公分	-1.5公分	0公分	變因

(二) 實驗結果

表12 2級線圈時，不同線圈距離之發射高度統計表(單位：公分)

線圈距離	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
1公分	94.6	96.2	97.1	96.3	95.1	96.8	94.3
2公分	103	102.5	104.4	101.2	103.5	106	105
3公分	113.5	110.8	112.3	108.2	110.5	109	111.2
4公分	102.8	103	102.5	103.2	101.8	100.9	101.7
5公分	97.2	95.3	96.7	98.8	99.2	99.5	97.5

實驗十三：探討2級線圈時，不同電壓對發射高度的影響

(一) 實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	離線圈距離	光敏電阻距離	線圈間的距離
變因	450V 1000 μ F	22號	180圈	2.5公分	3公分	-1.5公分	0公分	2公分

(二) 實驗結果

表13 2級線圈時，不同電壓之發射高度統計表(單位：公分)

電壓	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
40V	53	57	54	54	56	57	55
50V	93	95	92	92	97	96	93
60V	167	166	160	165	163	168	164

實驗十四：探討3級線圈時，不同電壓對發射高度的影響

(一) 實驗環境與變因

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	離線圈距離	光敏電阻距離	線圈間的距離
變因	450V 1000 μ F	22號	180圈	2.5公分	3公分	-1.5公分	0公分	2公分

(二) 實驗結果

表14 3級線圈時，不同電壓之發射高度統計表(單位：公分)

電壓	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
40V	80	83	78	79	81	81	85
45V	120	121	116	115	119	114	117
50V	超越長度	超越長度	超越長度	超越長度	超越長度	超越長度	超越長度

陸、討論

- 一、經過實驗測試，我們使用 35V 10000 μF 的電容進行發射時，充電時間與所發射的高度之關係在 10 秒後接近一致。為了能確保每一次實驗的電量保持一致，我們統一將「放電後充電 10 秒」做為控制變因，以避免因電量不一致而造成實驗誤差。
- 二、我們發現使用 10000 μF 的電容時，如果發射物深入線圈 1 公分，發射物會有拉回的情形發生。我們在查閱資料後，推測可能是因為放電時間過長，發射物過了中心點線圈還在放電，因此線圈會反過來把發射物往回吸。使用 10000 μF 的電容發射時，發射物在離線圈 0 公分時，發射高度最高。而使用 1000 μF 的電容時，我們發現發射物離線圈 1 公分時，發射物有在動，但都吸不上來，而發射物在深入 1 公分，發射物一下子就發射出去。在查閱資料後，發現可能是因為 1000 μF 的能量很快就放完了，可能物體還沒進入磁場最強的區域時，電流就已經消失，導致加速不充分。
- 三、我們發現在實驗的環境下，發射物的長度以 2 公分所發射的高度最高，發射物比線圈短少 1.5 公分時，所發射的高度最低。此外，發射物的長度長於線圈時，所發射的高度要高於發射物比線圈短超過 1.5 公分的情形。在查閱資料後，發現發射物要達到一定的長度，才會與線圈磁場有比較好的交互作用。
- 四、我們發現在實驗的環境下，線圈 300 圈所發射的高度要高於線圈 500 圈的高度。顯示線圈越少，所發射的高度越高，線圈越多，所發射的高度越低。這和我們的假設完全相反。在實驗中，我們觀察到這三種線圈在發射出去後，都有瞬間拉回的情形，而且線圈圈數越多，拉回的情形就越明顯，顯示線圈所產生的磁場、線圈磁場持續的時間，和發射物的感應磁場沒有互相匹配。如果能在線圈的頂端增加一個光敏電阻，當發射物超過線圈時就立即斷電，這樣也許會能改善發射高度，這有待日後的研究。
- 五、我們發現線圈長度以 3 公分時所發射的高度最高，線圈長度 1 公分的最低，線圈長度超過 3 公分時，所發射的高度大致一致。在查閱資料後，發現可能線圈長度 1 公分的磁場長度太小，還沒有加速就脫離線圈了，所以想要發射得高，線圈不一定是越短越好，這也打破我們做實驗前的想法。
- 六、我們發現以線規 22 號的線圈所發射的高度最高，線規 42 號的線圈完全無法發射，甚至還因過熱而將發射管融化，顯示線規越粗，所發射的高度最高。在查閱資料後，發現線規 22 號的線圈比較粗，阻力比較小，而線規 42 號的線圈比較細，短時間要通過大量的電流會導致通道受阻而過熱。

- 七、我們發現發射物與線圈的距離 0 公分時，使用 10000 μF 的電容可以發射出去，但使用 1000 μF 的電容卻無法發射，而當發射物深入線圈 1 公分時，1000 μF 的電容則可以正常發射，其發射高度都比使用 10000 μF 電容發射的高。會造成這個現象的原因，發現可能和討論的第二點一樣，都是因為電流強度造成發射物和磁場不相匹配，可能導致發射反拉的情形。
- 八、我們發現在單級電磁線圈發射器的實驗環境中，發射電壓是 55V 時，所發射的高度最高，而電壓 65V 的高度還低於電壓 45V 的高度。在查閱資料後，發現電壓高可能會有過度放電而造成拉回的情形，而電壓低時，雖然產生的磁場沒有那麼強，但拉回的情形也比較小，在沒有其他改善的方式下，電壓 55V 可能是這個環境下最適合的電壓。
- 九、我們發現使用 1000 μF 的電容時，發射物深入線圈 1 公分所發射的高度最高，發射物退出線圈越多時，高度逐漸降低，當發射物離線圈 1 公分時，則無法發射出去。發現可能和討論的第二點一樣，都是因為電流強度造成發射物和磁場不匹配的情形。
- 十、我們發現在發射 2 級與 3 級電磁線圈發射器時，光敏電阻離次級線圈的距離越短，所發射的高度越高。在查閱資料後，發現光敏電阻控制了次級線圈放電的時間，根據討論的第二點，當發射物剛好進入線圈入口，光敏電阻阻斷，線圈才放電，這時磁場強度就會剛好達到最高峰。
- 十一、我們發現在發射 2 級電磁線圈發射器時，線圈與線圈的距離以 3 公分時，所發射的高度最高。線圈與線圈的距離越接近時，所發射的高度最低。在查閱資料後，發現線圈距離越近，就越容易受到發射物產生的磁場、線圈與線圈之間的干擾，造成線圈與線圈的距離越接近時，所發射的高度最低的現象。
- 十二、我們發現在發射 2 級與 3 級電磁線圈發射器時，電壓越大，所發射的高度越高。這個結果和單級電磁線圈發射器的實驗八的結果相反。在查閱資料後，發現多級的環境和單級的環境不一樣，有可能是因為多級產生的動能及速度，抵銷了拉回的力量，也有可能是因為兩者的放電時機，與發射物感應磁場互相作用的情形不同，而造成相反的結果，這點還有待日後進一步的研究。

柒、結論

根據以上的討論，我們總結出以下的結論：

- 一、線圈的磁場和發射物之間的交互作用，是影響單級電磁線圈發射器之發射高度的最主要因素，當線圈磁場的產生時機、線圈磁場的持續時間，與發射物的感應磁場產生最好的搭配時，就不會產生反拉的現象時，發射的效果也就越好。
- 二、根據實驗一與實驗七的實驗結果，我們發現在低電壓時，使用 $1000\mu\text{F}$ 的電容所發射的高度，要高於使用 $10000\mu\text{F}$ 的電容。而根據實驗八與實驗九的實驗結果，我們發現在較高電壓時，使用 $10000\mu\text{F}$ 的電容的發射高度比使用 $1000\mu\text{F}$ 的電容高。這顯示不同微法拉電容的發射高度，會受到不同電壓而影響發射結果。而在實驗八中，我們發現 $10000\mu\text{F}$ 的電容在升高電壓後，會產生反拉的現象，使用 $1000\mu\text{F}$ 的電容就沒有產生反拉的情形。因此，在相同的環境下，想要增加發射高度，就要選擇 $1000\mu\text{F}$ 的電容，否則很有可能在增加電壓時， $10000\mu\text{F}$ 電容會因電流持續過久，產生反拉的情形，而降低發射高度。我們所購買的多級電磁線圈發射器，應該就是基於這樣的原因，才選擇使用高電壓但電流只有 $1000\mu\text{F}$ 的電容。
- 三、在多級電磁線圈發射器中，線圈之間必須要相隔一定的距離，這樣才能避免線圈磁場之間的互相干擾，導致發射效果變差。根據實驗的結果，最佳的距離是和發射物一樣的長度。
- 四、在單級電磁線圈發射器的相關實驗中，我們得到發射物與線圈的距離越近，發射的高度就越高。而在多級電磁線圈發射器的相關實驗中，我們也得到光敏電阻距離次級線圈越近，發射高度就越高的結果。這兩個結果相當一致。但根據實驗七的結果，如果發射物能在進入線圈1公分後再放電，發射高度應該會更高。
- 五、如果能使用其他設備去更加精確的控制放電的時間，就可以有效平衡電壓、電容、線圈與發射物這些變因，找出多級電磁線圈發射器最佳的配置。在查閱資料後，有一種利用單晶片控制放電時間的方法，這有待日後進一步的研究。
- 六、根據這次的實驗探究，在本研究的實驗環境下，且電壓不超過65V 時，以下是多級電磁線圈發射器的最佳設計清單：

實測電壓	測試電容	線圈線規	線圈圈數	線圈長度	發射物長	離線圈距離	光敏電阻距離	線圈間的距離
65V	450V $1000\mu\text{F}$	22號	180圈	2.5公分	3公分	-1.5公分	0公分	3公分

捌、參考文獻資料

- 郭彥助、鄧雅文、李靖元（2011）。無聲動力—線圈砲的發射分析與應用。中華民國第51屆中小學科學展覽會，國中組物理科。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030111.pdf>
- 陳韶寧、楊國睿、林品喬、莊承諺（2020）。「磁」母手中線—探討電容放電時間常數對電磁砲發射的影響。中華民國第60屆中小學科學展覽會，國小組物理科。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-080102.pdf?408>
- 葉達謙（2010）電磁砲。中華民國第50屆中小學科學展覽會，高中組物理科。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/040111.pdf>