

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

第一名

030107

電光石火-閃電之色彩研究

學校名稱：新北市立土城國民中學

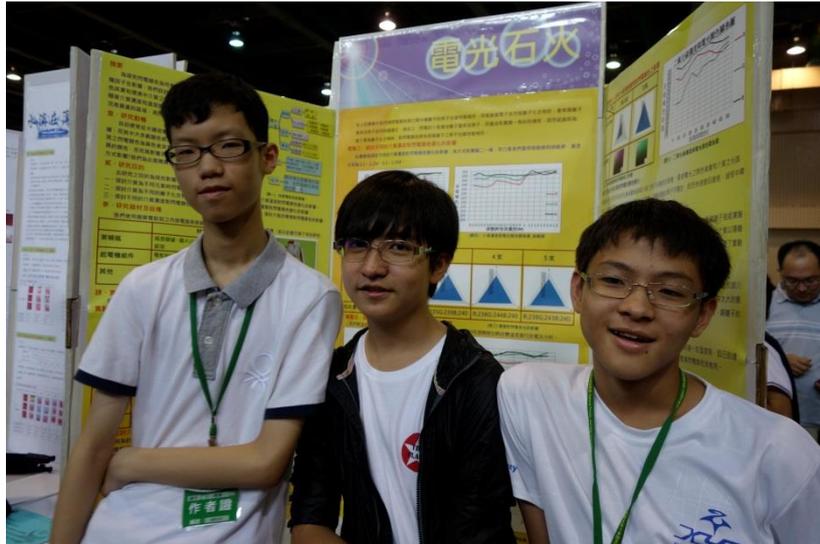
作者：  國二 賴彥霖  國二 楊金恒  國二 王子豪	指導老師：  莊佩蓁  陳怡如
---	-----------------------------

關鍵詞：閃電、光譜、顏色

## 得獎感言

對於今年的科展，我們十分喜悅。能抱得此種成績，真的非常感謝指導過我們的教授與老師們，在我們因實驗方向而困惑時，能夠這樣無私的解惑。嚴謹而漫長的實驗讓我們得以了解閃電如何呈現不同顏色，而且我們三人還一起製作了成本低廉，效果又非常好的起電機。由於高壓起電機的成本昂貴且危險，因此某日我們突發奇想，想到平時使用電蚊拍打蚊子時都會產生電光，或許可以利用次特點以製造閃電。所以我們利用生活中唾手可得的電蚊拍連接上兩組萊頓瓶，並接上金屬製針尖，完成了這部起電機。而實驗過程中這台起電機也讓我們多次承受被電擊之苦！

這屆在宜蘭舉辦的全國科展中，我們抱著無比期待和雀躍心情參展，從一開始手忙腳亂地架設看板和器材進行布展，以及為接受教授口試與發表前不斷重複地準備，深怕自己有任何疏忽，在正式發表的時刻，我們也非常謹慎地報告這一年半來辛苦研究的心血結晶，面對教授提問，也絞盡腦汁、盡力地回答，一心希望能夠讓教授們得到滿意的答案。第一次評審結束後，不幸地，我們遇到了颱風，因此評審的日期也提早了一天，而我們也更積極努力地練習，深入研究了評審丟出的問題，仔細思索最正確而精確的答案，由於事前不斷地朝實驗有關的方向做資料查詢，因此面對這些問題，我們在第二次的複審時也都向教授們做全面的解釋，而在兩次評審中，第一組的我們最先面臨評審們嚴肅的臉龐，這當然也增加了不少壓力，不過我們也盡力調適心情做出了我們認為最完美的詮釋，而到了評審的最後，我們有受到一些教授的讚美，加上之前研究時問心無愧的努力，因此在最後一天頒獎時，我們對自己的作品也持有絕對的信心，但當司儀念出第一名和我們的名字時，一切的緊張都化成了喜悅，看到自己長時間研究的心力成果獲得此等青睞，實在是令人歡愉，回頭想起這一切辛苦地過程，也都值得了，正所謂皇天不負苦心人啊！這次的科展讓我們也開了開眼界，全國各地的好手們皆一同來到宜蘭互相較勁，也讓我們有所成長，不但看到自己的不足，而能夠改正，也了解到了其他人的優點，而能夠學習，五天下來，體驗到了前所未有的充實感，真是獲益良多啊！



三人抱著學習的態度參加全國科展。



在莊佩蓁與陳怡如老師的細心指導下，突破重重難關。



校內科展審查時受到自然科老師們的高度關切與多項實質建議。

## 摘要

我們利用電蚊拍和花生糖罐自製了一部高壓起電機作為電源，在兩金屬尖端間製造小型放電，以模擬閃電現象，並藉由改變外在環境來研究不同的介質以及溫度對於電光顏色的影響。我們發現閃電的顏色受介質影響，例如，介質為鈉的電光顏色就呈現亮黃色，介質為鎂的電光顏色就呈現藍綠色，介質為銅的電光顏色呈現藍綠色，其電光顏色與該原子光譜之特徵波長相符。而介質為離子化合物時，則由正離子影響電光顏色。介質濃度愈高或者溫度愈高時，電光的亮度會愈亮並且顏色趨近於白光。因此，我們將此研究結果應用在酸雨成分及溫室氣體二氧化碳為介質時的閃電顏色，發現閃電的顏色會隨其濃度變化，因此可作為偵測汙染嚴重程度的方法。

## 壹、研究動機

從小，我們所看到的卡通、故事書，或者漫畫，都將閃電的顏色描繪成黃色，但是在記憶中閃電卻擁有許多不同的顏色。而閃電的電光究竟是甚麼顏色的呢？我們開始起了好奇心，而此時剛好是夏天，常常會出現閃電，某日，我們正走在路上，霎時間，一道極為明亮的閃電在遠處從天而降，由於正好在思索著關於閃電的問題，因此稍微觀察了一下這道閃電，發現它是呈現淡青色，緊接著，又從空劈下一道紫色的閃電，而回家查了一下閃電的圖片後，也確實找到許多不同顏色的閃電，有些是紫色，有些則是藍色，而這其中一定有甚麼因素在影響這其中的顏色變化，於是，我們開始著手進行關於閃電之電光顏色的研究。

## 貳、研究目的

本實驗的研究目的為探討介質如何影響閃電的顏色：

- 一、探討介質為不同**元素**時閃電的顏色變化。
- 二、探討介質為不同的**離子化合物**時閃電的顏色變化。
- 三、探討介質為不同的**分子化合物**時閃電的顏色變化。
- 四、探討不同的介質**濃度**對閃電顏色變化的影響。
- 五、探討不同的介質**溫度**對閃電顏色變化的影響。
- 六、探討不同的**電壓**對於閃電顏色變化的影響
- 七、藉由實驗之結果，來探討大氣的環境對閃電顏色的影響。

## 參、研究設備與器材

### 一、萊頓瓶之材料：

塑膠罐、鐵片（已穿孔）、迴紋針、螺絲釘、鋁箔

### 二、電源系統：

電蚊拍（內部電路）、充電電池

### 三、底座：

木板、鋁箔

### 四、其他：

書面紙

### 五、工具：

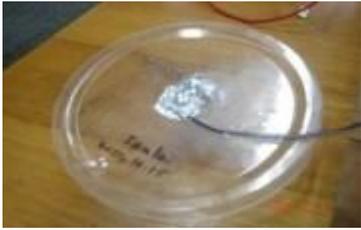
剪刀、美工刀、曲線鋸、錫槍、尖嘴鉗、膠帶、雙面膠、三秒膠、焊錫、螺絲起子

## 肆、實驗過程與方法

想要了解閃電顏色差異的原因，就必須要觀察閃電，但自然的閃電非但不常出現，且相當危險，因此我們透過回收廢棄電蚊拍和利用廢棄花生罐自製的萊頓瓶來製造尖端放電以模擬閃電的放電現象。

### 一、 利用電蚊拍與萊頓瓶自製起電器：

#### (一) 萊頓瓶製作：

	1. 將兩個空塑膠罐之罐壁的內外層以及底部用雙面膠貼上一層鋁箔。
	2. 將與塑膠瓶相符的塑膠蓋利用焊槍在中心穿洞，然後將螺絲釘璇上短導線並且穿過鐵片接著拴上塑膠蓋。
	3. 接著再用尖嘴鉗將迴紋針彎曲成螺旋狀，旋轉套上已穿過塑膠蓋的螺絲釘，最後將數個迴紋針陸續串接起來。
	4. 將蓋子蓋上，檢查迴紋針是否碰至瓶子底部，再將短導線與長導線連接在鐵片處，便完成了萊頓瓶。

(二) 製作供電系統：

	<p>1. 先將兩支電蚊拍的外殼拆去，取出其內部線路，並將輸入電源的插頭接好。</p>
---	---

(三) 連接萊頓瓶與供電系統：

	<p>1. 將其中一部份的木板上貼一層鋁箔，並將萊頓瓶至於其上，使兩個萊頓瓶的底部通導。</p>
	<p>2. 將電蚊拍的正極電力輸出導線與其中一個萊頓瓶一端的長導線連接，並且將電蚊拍的負極電力輸出與另一個萊頓瓶之長導線連接（圖中圓圈標記處）。</p>

(四) 自製起電機結構示意圖：

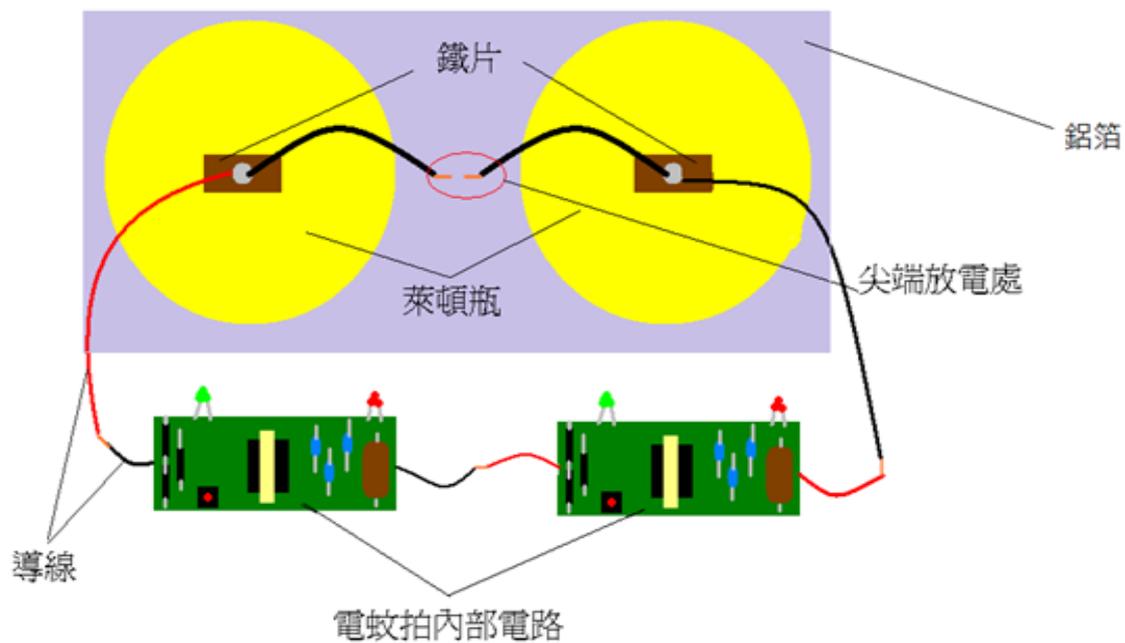


圖 1. 自製起電機結構示意圖

(五) 萊頓瓶結構示意圖：

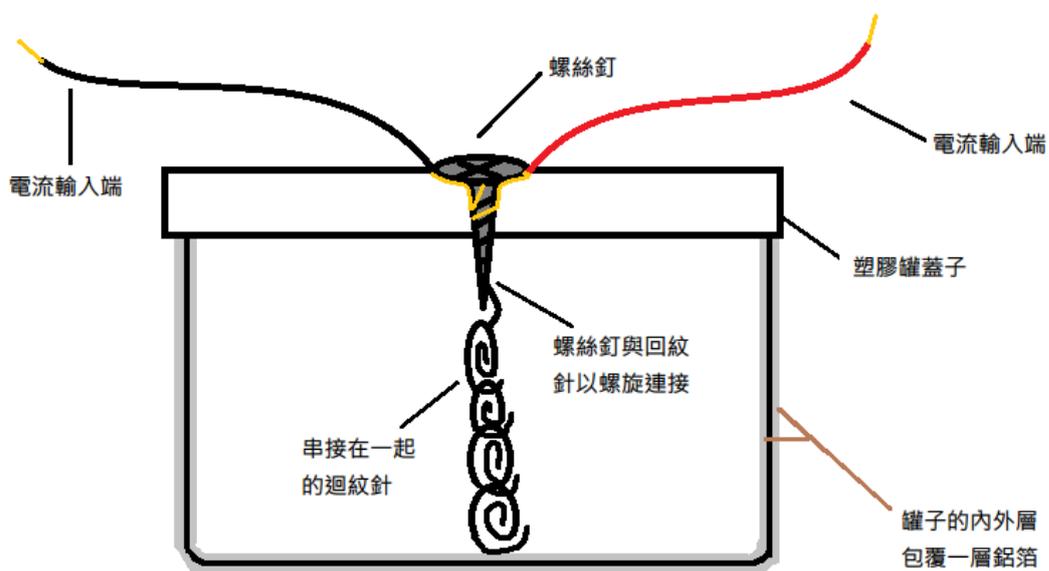


圖 2. 萊頓瓶結構示意圖

(六) 自製起電機電路圖：

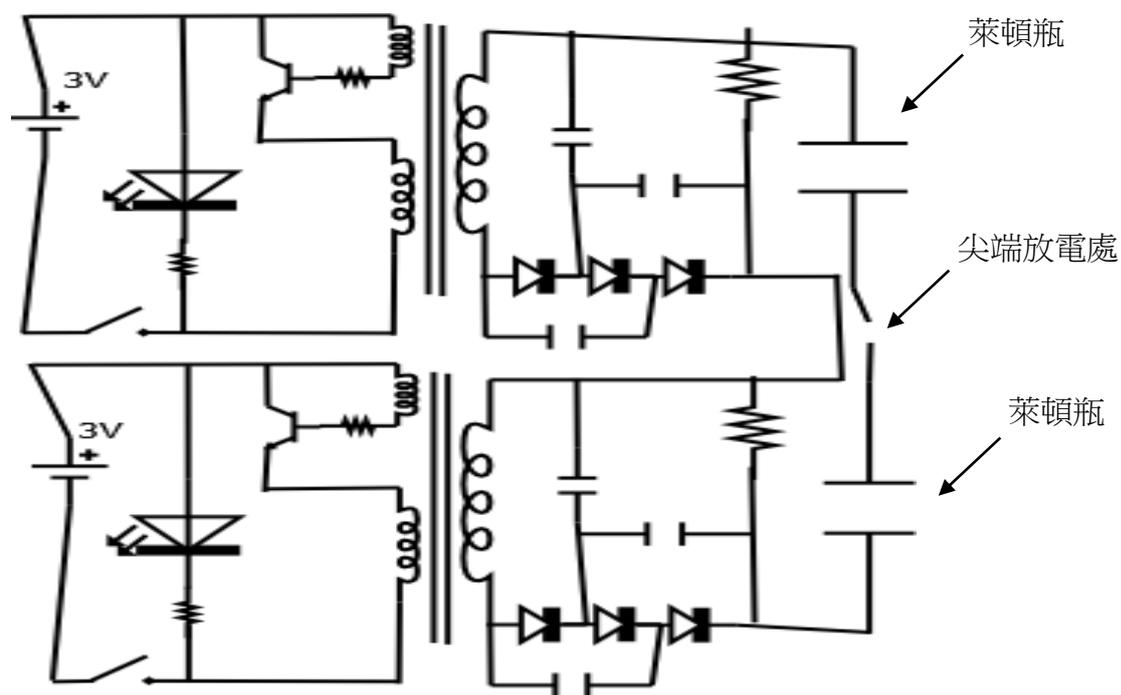


圖 3. 自製起電機電路圖

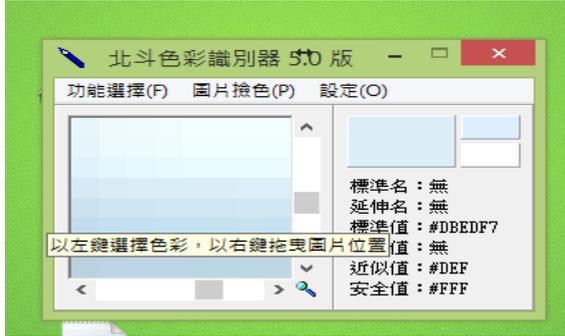
二、實驗內容：

(一) 實驗一：探討以不同元素為介質時之閃電電光顏色。

1. 實驗操作

	<p>(1) 將連接兩支電蚊拍的起電器放電處調整至約 0.4 公分。</p>
	<p>(2) 將不同的元素 (Cu、Zn、Mg、Na) 置於起電機兩尖端之間，並開始起電。</p>

## 2、數據分析：

	<p>(1) 先利用 GOM 軟體自影片中截圖。</p>
	<p>(2) 將圖檔中有色電光部分使用北斗色彩識別器放大至點陣圖內的像素呈現方格狀。</p>
	<p>(3) 使用檢色器檢驗該方格之全值域之值。</p>

(二) 實驗二：探討以不同的離子化合物為介質時之閃電電光顏色。

1. 實驗步驟：



(1) 將白紙裁切成條狀，作為沾附離子化合物水溶液之試紙。



(2) 配置各種不同離子化合物水溶液（硫酸鋅、硝酸鋅、硫酸鐵、硝酸鐵、硫酸鎂、硝酸鎂水溶液）並固定濃度皆為 1M。



(3) 將步驟 (1) 中的試紙浸泡入離子化合物水溶液中。



(4) 將上步驟的試紙置於起電機兩電極之間，並開始起電，使用錄製影片方式做紀錄，並同實驗一之數據分析方法處理好數據。

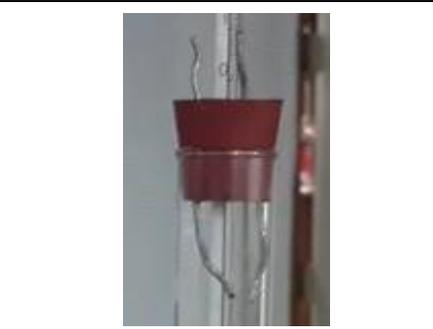
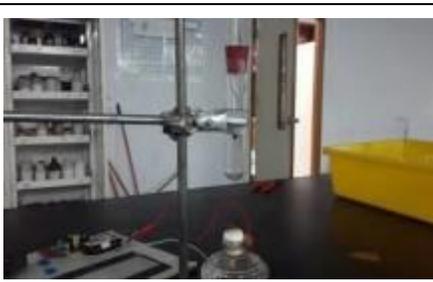
(三) 實驗三：探討不同濃度之離子化合物為介質時，對電光顏色或亮度之影響。

1、實驗步驟：

方法同實驗二之步驟，浸泡溶液改為不同濃度的硝酸鉀溶液與硫酸銅溶液（改變濃度範圍分別為：硝酸鉀溶液 0.1M~1.5M；硫酸銅溶液 0.1M~1.2M）。

(四) 實驗四：探討不同溫度的介質對電光顏色或亮度之影響（介質為：空氣、鎂）。

1、實驗步驟：自製溫控測量裝置

	(1) 將橡皮塞削去約三分之一。
	(2) 將溫度計及兩根鐵絲穿過橡皮塞，而兩鐵絲的距離約 0.4 公分。
	(3) 將橡皮塞塞入試管口。
	(4) 將酒精燈置於鐵架之底座上，並利用蝴蝶夾固定試管，使其和酒精燈距離約 2 至 3 公分。

	<p>(5) 使用鱷魚夾及導線將起電機上萊頓瓶的鐵片與橡皮塞上的兩端鐵絲分別連接。</p>
	<p>(6) 點燃酒精燈加熱試管，觀察其溫度計，當溫度達攝氏 100 度時，將酒精燈熄火，開始利用起電機在試管中起電，並同時開始攝影，直至溫度降至攝氏 30 度時停止拍攝。</p>

(五)、實驗五：藉前實驗之結果進階研究大氣環境實際對閃電顏色之影響(其研究分別針對酸雨汙染和二氧化碳濃度)

1、實驗步驟(針對空氣汙染)

(1)、實驗步驟大致同實驗二使用紙條浸泡法，但介質改為造成空氣汙染的物質，包括 PH 值 1-7 之間的硝酸、硫酸、醋酸

2、實驗步驟(針對二氧化碳)

	<p>(1)利用類似實驗五的方法，將電極插入橡皮塞中，並緊密地插入一根玻璃管，再將橡皮管連接玻璃管，最後塞入試管。</p>
	<p>(2)利用排水集氣法讓試管內充滿二氧化碳，再將橡皮管口夾緊，使其密閉並塞入試管，一邊打開橡皮管口放氣，一邊放電，並拍攝紀錄。</p>

(六)、實驗六：研究電壓對閃電顏色所造成的影響。

1、實驗步驟：

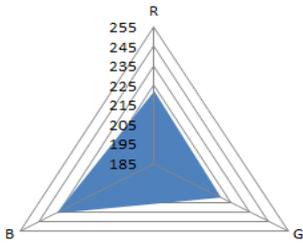
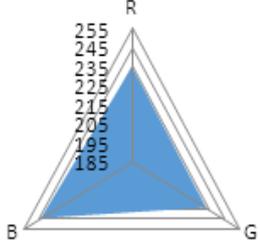
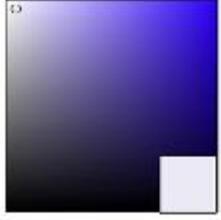
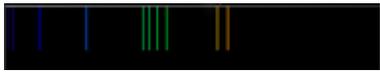
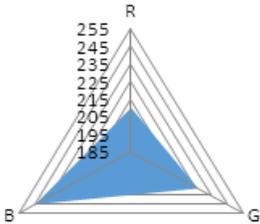
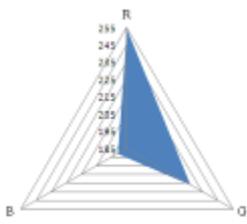
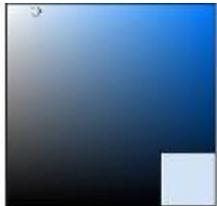
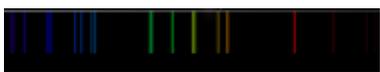


(1)、串聯不同支數電蚊拍於起電機分別起電並記錄。

## 伍、研究結果

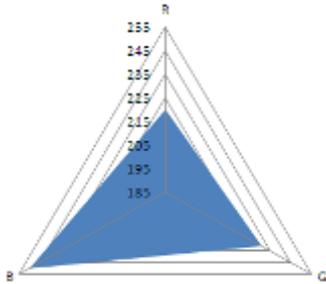
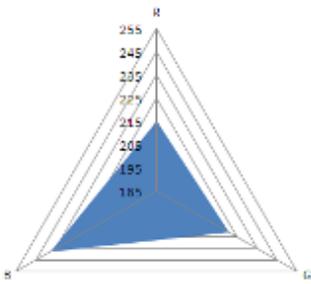
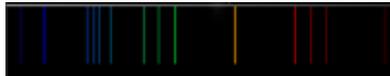
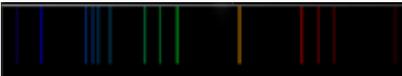
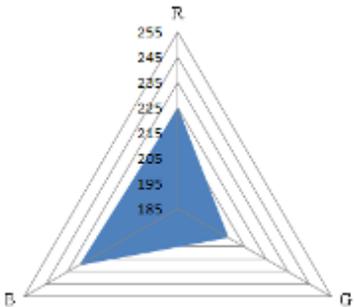
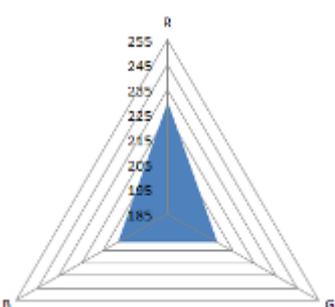
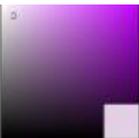
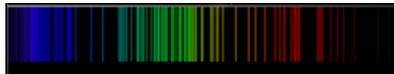
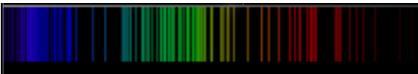
一、實驗一：探討介質為不同元素時閃電的顏色變化。

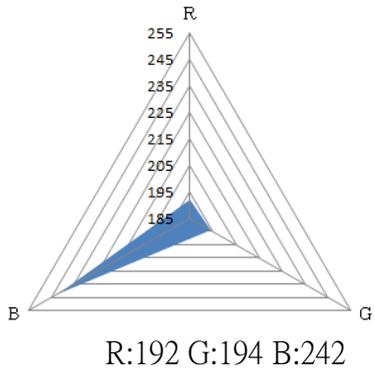
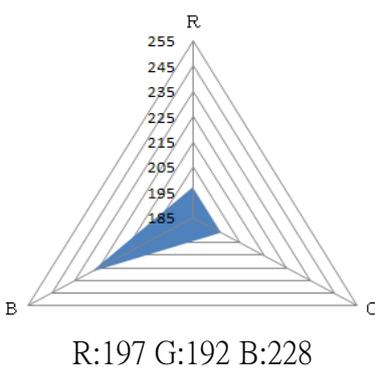
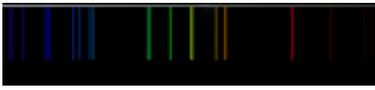
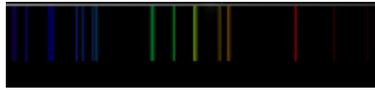
(一) 實驗數據：

介質	銅	鋅
RGB 分析圖表	 <p style="text-align: center;">R:222G:220 B:236</p>	 <p style="text-align: center;">R:235 G:233 B:244</p>
顏色對照		
元素光譜(參考資料一)		
介質	鎂	鈉
分析圖表	 <p style="text-align: center;">R:232 G:220B:216</p>	 <p style="text-align: center;">R:254 G:227 B:191</p>
顏色對照		
元素光譜(參考資料一)		

二、實驗二：探討介質是不同的離子化合物時閃電的顏色變化。

(一) 實驗數據：

介質	硫酸鋅	硝酸鋅
分析圖表	 <p>R:220 G:231 B:250</p>	 <p>R:215 G:221 B:238</p>
顏色對照		
元素光譜 (參考一)		
介質	硫酸鐵	硝酸鐵
分析圖表	 <p>R:225 G:208 B:230</p>	 <p>R:230 G:208 B:208</p>
顏色對照		
元素光譜 (參考一)		

介質	硫酸鎂	硝酸鎂
分析圖表	 <p>R:192 G:194 B:242</p>	 <p>R:197 G:192 B:228</p>
顏色對照		
元素光譜 (參考一)		

三、實驗三：研究介質濃度與電光顏色之間的關係。

(一) 實驗數據：

1、以不同濃度之硝酸鉀水溶液、硫酸銅水溶液和醋酸水溶液為介質之電光顏色分析結果：

濃度(M)	全值域色彩值(介質為硝酸鉀水溶液)	全值域色彩值(介質為硫酸銅水溶液)	全值域色彩值(介質為醋酸水溶液)
0.1	R:239 G:247 B:251	R:169 G:158 B:206	R:220 G:214 B:250
0.2	R:238 G:247 B:251	R:233 G:158 B:206	R:232 G:230 B:244
0.3	R: 237G:246 B250:	R:234 G:253 B:253	R:230 G:233 B:252
0.4	R:238 G249: 250B:	R:233 G:255 B:253	R:240 G:243 B:251
0.5	R:244 G:248 B251:	R:244 G:253 B:251	R:247 G:246 B:252
0.6	R:243 G248: B:251	R:244 G:247 B:253	R:245 G:240 B:248
0.7	R:243 G248:B:251	R:248 G:249 B:253	R:247 G:252 B:255
0.8	R:242 G244: B:250	R:252 G:252 B:252	R:251 G:250 B:255
0.9	R:238 G244: B:249	R:253 G:255 B:254	R:252 G:252 B:255
1.0	R:239 G244: B:249	R:252 G:253 B:254	R:252 G:245 B:253
1.1	R:248 G250: B:249	R:252 G:254 B:255	R:251 G:251 B:253
1.2	R:251 G:249 B254:	R:253 G:255 B:255	R:250 G:254 B:253
1.3	R:252 G250: B:251		R:251 G:255 B:255
1.4	R:251 G:253 B:250		R:254G:254 B:254
1.5	R:251 G253: B:253		R:169 G:158 B:206

表 1. 不同濃度之硝酸鉀水溶液、硫酸銅水溶液及醋酸溶液為介質之電光顏色分析

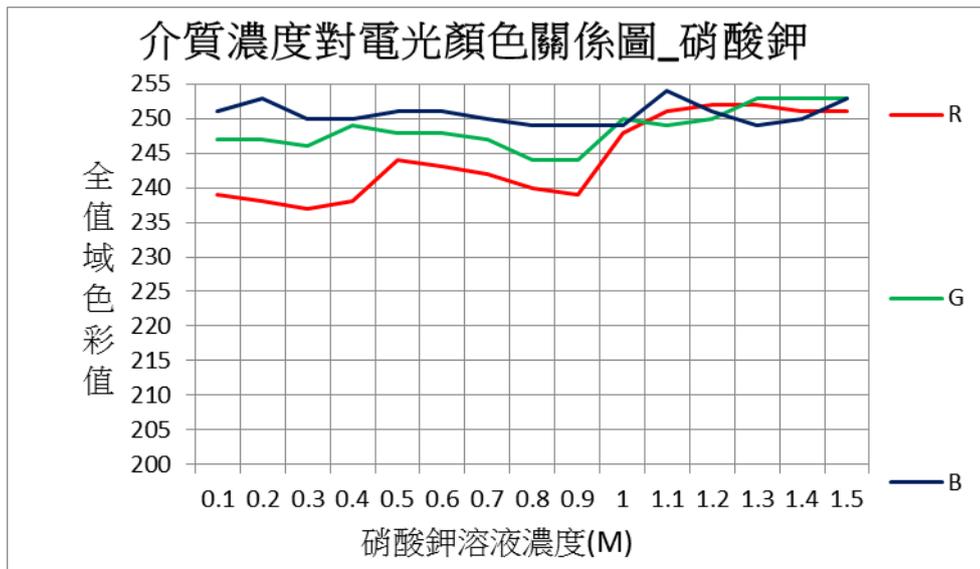


圖 4. 介質濃度對電光顏色關係圖\_硝酸鉀溶液

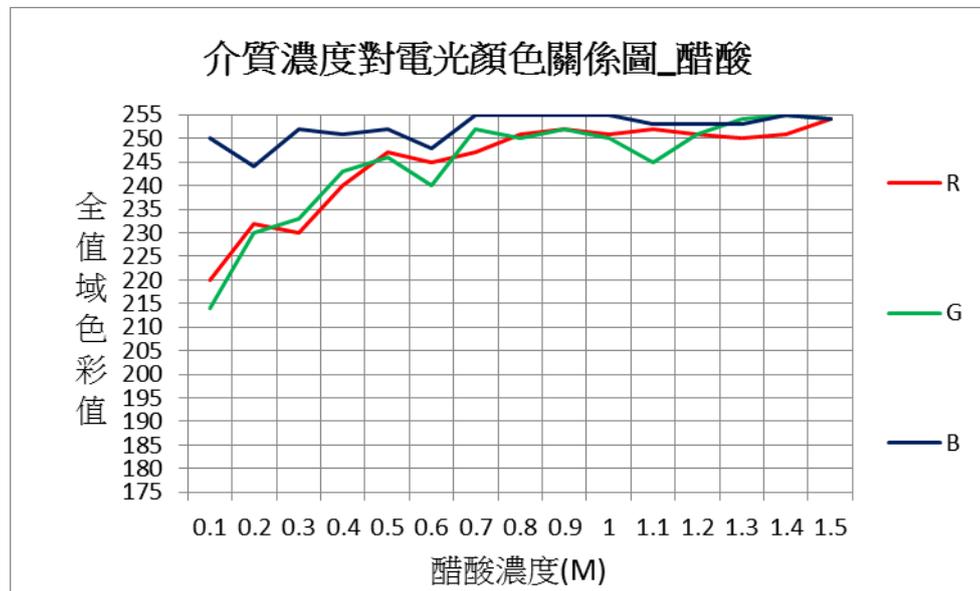


圖 5. 介質濃度對電光顏色關係圖\_醋酸溶液

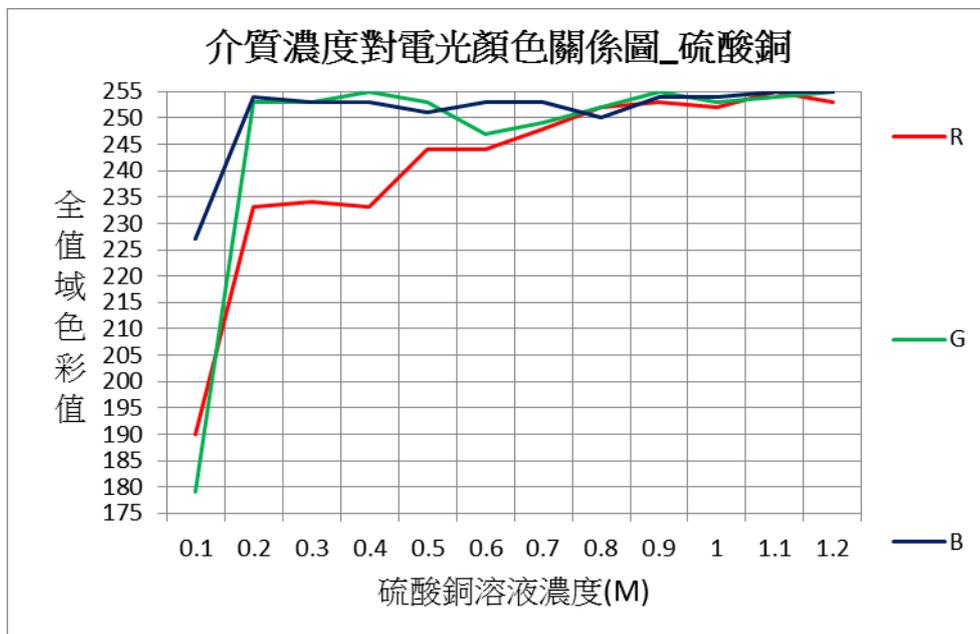


圖 6. 介質濃度對電光顏色關係圖\_硫酸銅溶液

四、實驗四：介質溫度與電光顏色之間的關係。

(一) 實驗數據：

溫度(°C)	全值域色彩值 (介質為鎂)	溫度(°C)	全值域色彩值 (介質為空氣)
30	R:200 G:214 B:233	30	R:237 G:248 B:242
40	R:219 G:226 B:234	40	R:236 G:247 B:241
50	R: 228 G:241 B:250:	50	R:233 G:249 B:246
60	R:245 G:250 B:253	60	R:238 G:247 B:245
70	R:240 G:255 B:255:	70	R:236 G:248 B:252
80	R:240 G:253 B:255	80	R:238 G:250 B:252
90	R:250 G:255 B:255	90	R:238 G:247 B:248
100	R:250 G:255 B:255	100	R:239 G:253 B:255

表 2. 改變介質溫度之電光顏色分析數據

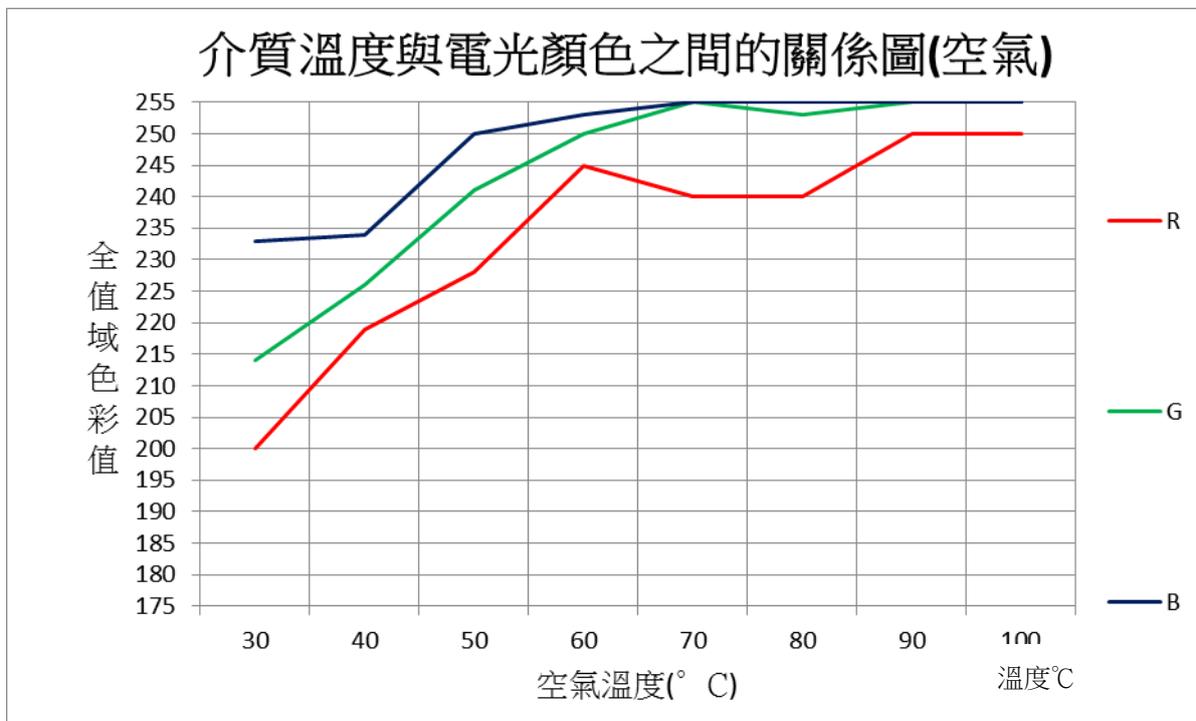


圖 7. 介質溫度與電光顏色之間的關係圖 (介質為空氣)

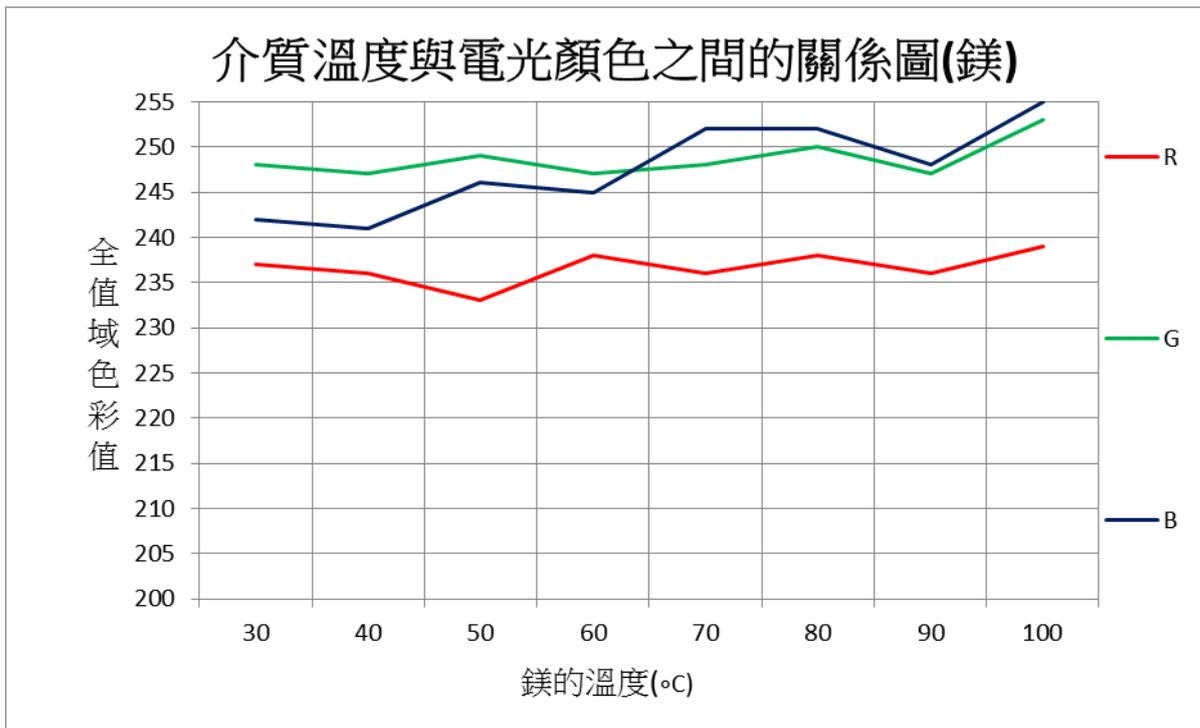


圖 8. 介質溫度與電光顏色之間的關係圖（介質為鎂）

五、實驗五：藉前實驗之結果進階研究大氣環境實際對閃電顏色之影響(其研究分別針對酸雨汙染和二氧化碳濃度)

(一)、實驗數據(關於酸雨汙染)

介質 PH 值	鹽酸	硫酸
1	R198 G:183 B:218	R217 G:211 B:223
2	R200 G:190 B:216	R220 G:218 B:230
3	R220 G:216 B:235	R:228 G:220 B:233
4	R225 G:220 B:230	R240 G:230 B:244
5	R230 G:225 B:251	R248 G:230 B:216
6	R255 G:255 B:255	R255G:255 B:255

表 3. 改變介質濃度對閃電顏色的影響

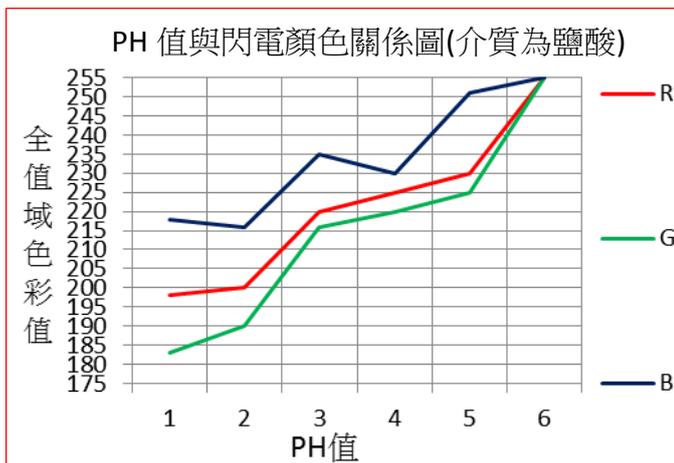


圖 9. 介質 PH 值與閃電顏色關係圖(鹽酸)

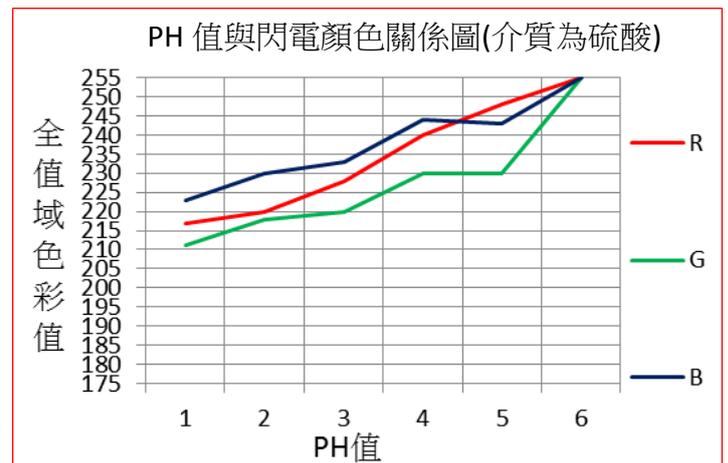


圖 10. 介質 PH 值與閃電顏色關係圖(硫酸)

(二)、實驗數據(關於二氧化碳)

1、關於二氧化碳電光特徵與空氣之比較

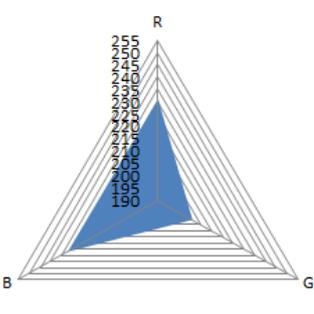
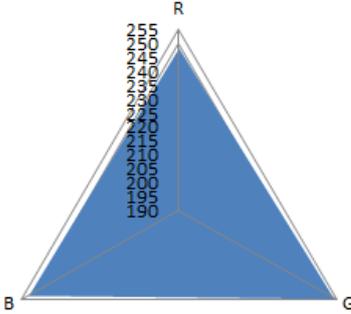
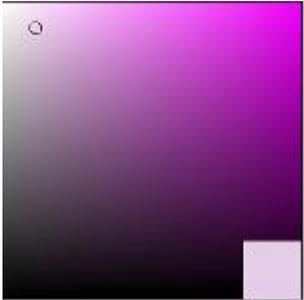
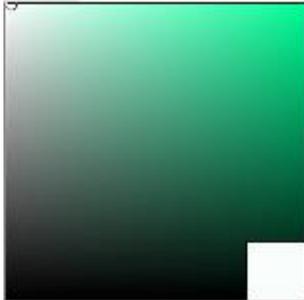
介質	二氧化碳	空氣
RGB 分析圖表	 <p>R:231 G:206 B:232</p>	 <p>R:248 G:254 B:252</p>
顏色對照		

表 4.二氧化碳電光與空氣電光比較

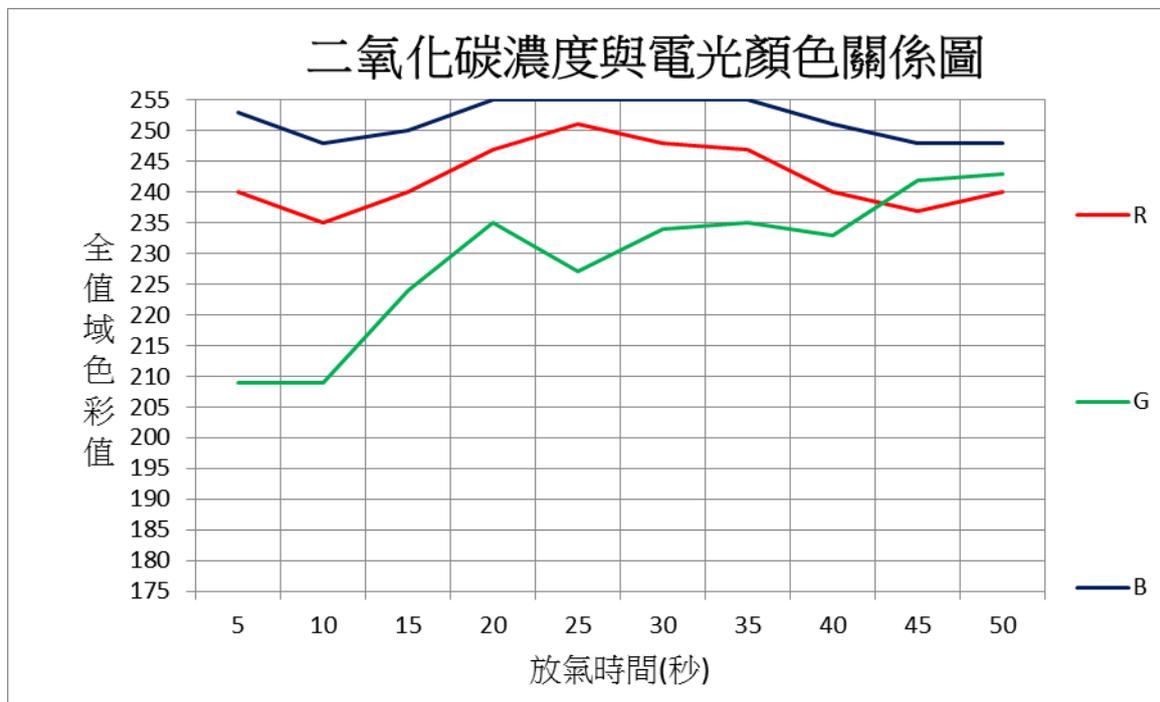


圖 11. 二氧化碳濃度與電光顏色關係圖

六、實驗六：探討電壓大小與閃電之顏色影響

(一)、實驗數據

電蚊拍支數	2 支	3 支
RGB 分析		
RGB 值	R:238 G:241 B:243	R:237 G:241 B:242
電蚊拍支數	4 支	5 支
RGB 分析		
RGB 值	R:238 G:242 B:243	R:238 G:240 B:245

表 5.電壓大小對閃電顏色特徵的影響

## 陸、討論

- 一、 我們原本想使用高壓電過於昂貴，因此我們思考有哪些其他物品既廉價、好取得又可產生高電壓。最後想到電蚊拍，電蚊拍本身就能產生高壓，而我們再將電蚊拍接到萊頓瓶上以蓄電，最後再接出之尖端上，形成一種尖端起電機。而由於放電現象順閃即逝，因此我們想到了可以利用攝影的方式記錄放電現象，在使用截圖軟體將影片擷取成照片以作後續顏色分析。
- 二、 由於必須讓閃電經過其液態的介質，因此須找到適合的容器盛裝介質並可放置於起電機放電處中央，但若直接將放電處浸泡於介質內，那將有可能因電組太大而變成電解器，而無起電現象，於是我們決定使用以紙浸泡介質後，再將紙置於起電機放電處中央。紙是一個絕緣體，但是紙是由纖維構成，因此具有許多孔洞，而紙浸泡過介質後，這些介質將吸附於這些孔洞內，當閃電流經紙時，將會沿著電阻較小的孔洞流動，進而經過介質。
- 三、 **探討介質為不同元素時閃電的顏色變化：**  
根據電光照片所分析出的全值域數值與其介質之原子光譜的比對後，發現電光之顏色確實和介質之光譜符合，尤其是鈉和鎂這兩種元素，情況與焰色實驗的結果一樣，因此便可推論，電光之成色原理與焰色實驗類似，都是因為外力讓原子進入激發態，而激發態的原子不穩定，因而快速變回基態，過程中釋放出的光能（如圖 12.），即原子光譜的特徵。

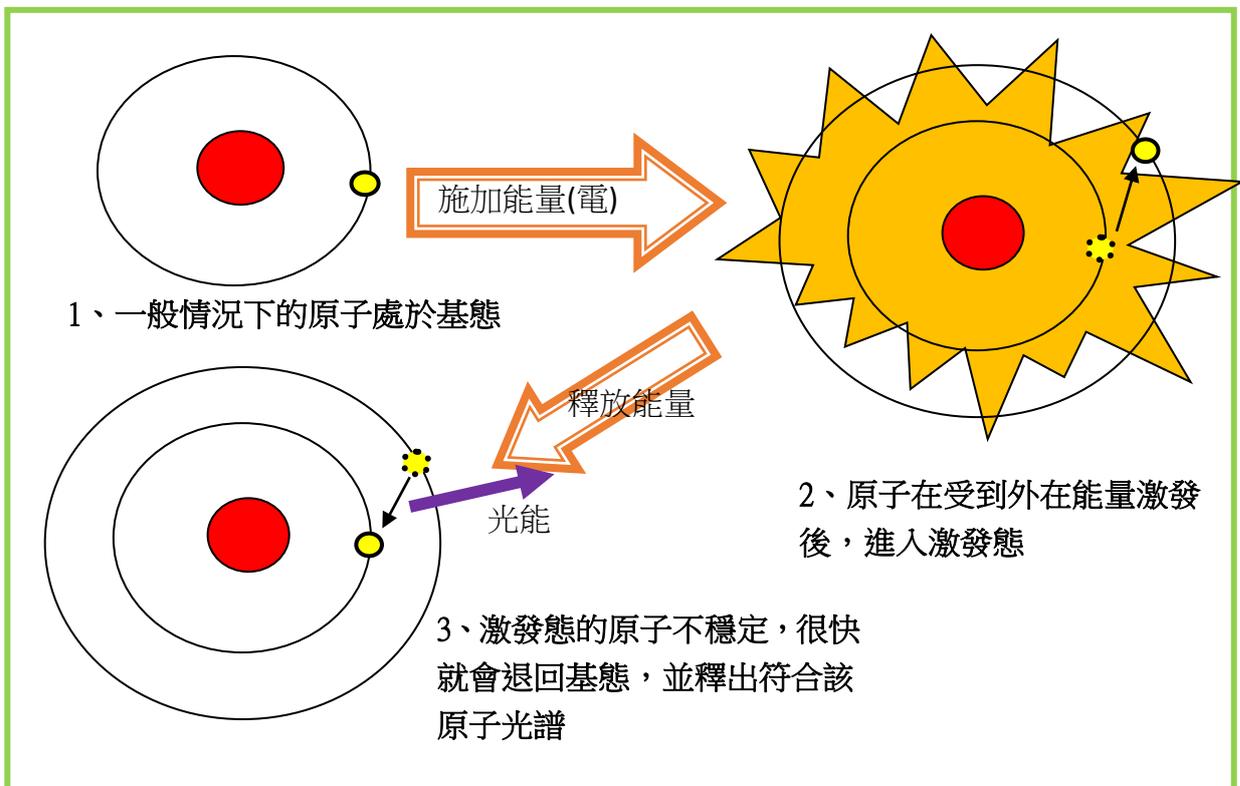


圖 12. 激發態原子變回基態並釋放出光能示意圖

#### 四、 探討介質是不同的離子化合物時閃電的顏色變化：

觀察實驗二結果，可發現三組樣本的電光顏色確實和該介質之陽離子的原子光譜符合，而鐵離子這組實驗則因為鐵無較突出的光譜特徵，因此只作為證明陰離子不影響閃電特徵之用。由此得出不同的介質以陽離子的方式存在時，其電光顏色也和該陽離子之光譜相符合，這和焰色實驗的結果一樣，也因此應證了實驗一的推論結果。

#### 五、 探討介質為不同的分子化合物時閃電的顏色變化：

若介質中含有分子化合物，其分子化合物並不會影響其電光顏色。

#### 六、 研究介質濃度與電光顏色之間的關係：

介質的濃度愈高時，三原色光的直接會提升至 255，即介質濃度愈高，其電光顏色愈趨近白光，由於該介質之原子光譜特徵的色光在介質濃度到達一定值時，其全值域數即便已到達 255，因此不會再有太大的變化，使濃度愈高時，該元素之原子光譜特徵愈不明顯。而硫酸銅的變化較明顯，則推論是因為，銅離子的光譜特徵較明顯，因此一開始的電光特徵也較明顯。

#### 七、 研究介質溫度與電光顏色之間的關係：

溫度愈高，電光顏色愈趨近白色，而原本屬於該介質原子光譜特徵的原色光，到達一定溫度時，則因已經到達最高值，也就是 255，因此不再有明顯的變化，總結以上結果，我們發現，當介質溫度愈高時，電光顏色會愈趨近白色，換言之，介質溫度愈高電光顏色就愈亮。

#### 八、 研究電壓與電光顏色之間的關係：

我們發現電壓愈大，電弧的長度會愈長，而當電弧長度控制在定值時，放電的頻率則會增加，且電光會稍微變亮，但其色光特徵並不受到影響。

#### 九、 延伸推論：測試酸雨環境及溫室氣體 (CO<sub>2</sub>) 對電光顏色的影響

藉由上述的實驗結果，我們可知道電光的顏色會隨著環境介質的狀態改變。可以藉由得知閃電發生地的環境特徵，而推論出閃電電光的顏色特徵，抑或是反向思考，藉由觀察閃電電光的顏色特徵、而推論出當地環境狀況。因此我們針對目前的酸雨問題做實驗，如圖 9、圖 10 可知，若環境中含有酸性介質，電光顏色會成藍紫色，且濃度越高時電光顏色越亮。

另外我們也針對主要溫室氣體 CO<sub>2</sub> 檢測其電光顏色，由圖 11 可知二氧化碳介質的電光顏色偏紫紅色，並且隨著放氣時間愈長，CO<sub>2</sub> 濃度愈小，則閃電顏色將會趨近於一般空氣介質的電光顏色白色，因此我們可推測當某地空氣中二氧化碳較高時，閃電顏色可能呈紫紅色。

#### 十、 後續發展

本實驗所注重的變因是介質與溫度，而無涉及到氣壓這個變因，因此，如果未來有機會的話，我們可能會針對環境的氣壓這個變因進行深入的研究，讓我們對這神奇的自然之美有更深入的了解。

## 柒、結論

將所有實驗的結果統整並加以簡化後，我們得到了以下幾個電光顏色的規則：

- 一、 若介質為元素，則電光顏色即為介質之原子光譜特徵。
- 二、 若介質為離子，則電光顏色即為陽離子之原子光譜特徵。
- 三、 若介質中含有分子化合物，則其分子化合物的成分不影響電光顏色。
- 四、 同一種介質，濃度愈高，則電光顏色會愈趨近白色。
- 五、 同一種介質，溫度愈高，則電光顏色愈趨近白色。
- 六、 同一種介質，電壓愈高，則電光特徵不變，但電弧會較長。

## 捌、參考資料及其他

- 一、 維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>
- 二、 電蚊拍電路  
<http://s90304a123.pixnet.net/blog/post/35482874-%E9%9B%BB%E8%9A%8A%E6%8B%8D%E9%9B%BB%E8%B7%AF%E5%9C%964%E7%A8%AE%EF%BC%8C%E4%BB%A5%E5%8F%8A%E7%B6%AD%E4%BF%AE%E6%96%B9%E6%B3%95>
- 三、 細說閃電 <http://sprite.phys.ncku.edu.tw/new/other/lightning/lightning.htm>
- 四、 閃電的世界 <http://097309.blogspot.tw/>
- 五、 視覺之旅 神奇的化學元素(軟體)

## 【評語】 030107

所設計的放電及集電裝置非常巧妙並對整體研究極具效率，色彩分析的方式非常有創意，學生對原理也十分了解。

很好的設計，也有許多實用的價值。可推廣為中學的教材。其中討論二氧化碳的部分較複雜，可深入探討。

利用自製的簡單裝置可以對金屬離子的偵測達到相當的靈敏度，相當難得。