

# 2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160014

參展科別 物理與天文學

作品名稱 火焰之舞

得獎獎項

就讀學校 康橋學校財團法人新北市康橋高級中學

指導教師 蔡宜蓁、李威震

作者姓名 江以賢、林柏宇、張崇悅

關鍵詞 高壓靜電、焰色、光譜

## 作者簡介



我叫江以賢，是這次國際科展的參賽作者。我對科學有濃厚興趣，八年即加入科學人社，在做研究的過程中發現自己很喜歡做實驗。在練習報告時讓我對自己更有信心。我在七年級時其實是個內向害羞的人，但參加社團後我的個性變得開朗活潑。這也是我在參加社團時的收穫。

我是張崇悅，我是這次國際科展的參賽者。小時候喜歡閱讀各類書籍，發現自己對科學有濃厚的興趣。八年級時參加了科學人社團。加入社團之後，發現自己很喜歡做實驗。科學人社團讓我收穫最多的是在練習發表時學到了表達技巧，讓我和別人說話時更有條理。學到如何用科學的方法來探索這個世界。

我是林柏宇。從小我就對各種事物感到好奇，進入學校後，對各種學科都抱著極大的興趣。最擅長的就是數理，每當要上這些課程，我總是興致勃勃，並做出最好的表現，我還去參加一些相關比賽，如數感、科展等，除了可以快樂的學習，也

獲得許多寶貴經驗。除了在學科上的突出，我十分擅長口說，參加各種演說比賽，也拿到優良成績，為日後面對人群打下基礎。我是一個勇敢的人，不畏懼任何新事物，也一直抱持這個心態面對所有事情。面對事情，來者不拒，做事盡力，腳踏實地則是我的座右銘。

## 摘要

國慶煙火在天空綻放時，顏色斑斕炫爛，不禁在想，火藥裡頭究竟加了哪些物質造成這些五顏六色的絢麗光芒？於是開始搜尋資料，發現這些多彩的色光，是因為電子在不同的軌域中躍遷時放出來的光芒，稱為焰色反應。於是我們開始動手作實驗，發現在酒精膏上填充不同的金屬離子會出現不一樣顏色的火焰，而且在火焰的外部加入電場，竟然能使火焰產生偏折的現象！這個現象更引起了我們的好奇，火焰中是否含有帶電離子，以致於被電場吸引？又添加不同價數的離子，是否會因為價數的不同而造成偏折角度的差異？於是我們經過了反覆實驗後觀察到失去電子的正電離子，確實會因為電場的影響造成不同角度的偏折，且正電離子本身的價數越大，造成的偏折角度越小。

## Abstract

Fireworks have different colors. When electrons absorb energy, they are promoted to higher orbitals. When they fall back to their original lower levels, they release the energy as light does. This gives fireworks their colors. We also found that adding an electric field around the flame can cause the flame to bend. After repeated experiments, we observed that if the ion's valence is greater, the bending angle of the flame is smaller.

# 一、前言

## (一) 研究動機

我們在網路上看到一部影片，裡面的人用高壓電擊蠟燭的火焰，在電弧出現的同時我們看到火焰變成蝴蝶的形狀，這讓我們覺得非常的有趣，在老師的協助下我們用韋氏起電機複製了影片中的實驗，卻在蠟燭換了位置之後發現火焰沒有變成蝴蝶狀，反而往電極偏折。我們想要找出為什麼火焰會有這樣的現象，於是展開了一系列的文獻探討和實驗。

## (二) 研究目的

本實驗利用韋式起電機及焰色實驗，探討火焰中金屬離子與靜電場的交互關係。

1. 確認韋氏起電機兩端金屬電極的正負極屬性。
2. 探討含有不同價數金屬離子化合物的焰色實驗中，火焰於高壓靜電下的偏折角度。
3. 利用手機光譜儀確認焰色中是否含有金屬離子。

## 二、研究方法及過程

### (一) 研究設備及器材

#### 1. 實驗器材

表 1 實驗器材列表

韋氏起電機	三用電表	導線
燒杯	量筒	藥匙
燃燒匙	電子秤	秤量紙
酒精燈	陶瓷纖維網	三腳架
鐵架及萬向夾	手持式光譜儀	防火毯

#### 2. 實驗藥品

表 2 實驗藥品列表

95%乙醇	醋酸鈣	硼酸
氯化鋰	氯化鈉	氯化鉀
硫酸鎳	氯化鋇	硫酸銅

#### 3. 分析軟體

表 3 分析軟體列表

Protractor	RvSpectrum	Autodesk Sketchbook
計算角度	光譜分析	疊圖分析

## (二) 研究過程及方法

### 1. 文獻探討

#### (1) 韋氏起電機

##### A. 構造：

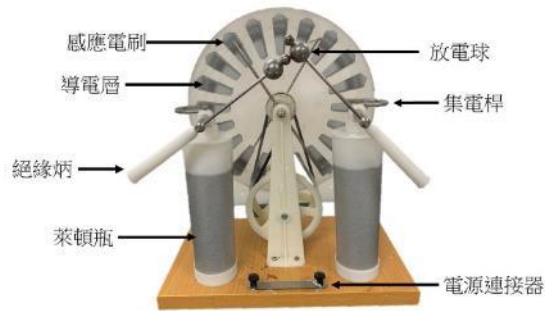


圖 1 韋式起電機構造圖

- (A) 由金屬片和塑膠圓盤所組成的起電盤
- (B) 集電器，這裡又稱萊頓瓶。
- (C) 金屬集電棒。
- (D) 電刷

##### B. 起電原理圖解：



圖 2 韋式起電機起電原理

C. 相關討論：

(A) 為什麼韋氏起電機可以起電？

轉動兩個電盤，一片將自動順時針轉，一片逆時針轉，因轉動時圓盤上的金屬片與電刷摩擦而生電。電從金屬片傳至電刷，再傳至萊頓瓶，由萊頓瓶儲存的電力開始放電。

(B) 韋氏起電機是產生甚麼類型的電？電弧是怎麼出現的？

韋氏起電機因金屬片摩擦產生靜電時，前後電盤都會個別產生正負電荷，後因電刷的構造使兩電盤電荷轉換，使集電瓶(萊頓瓶)儲有正負電荷，萊頓瓶的電連通到上頭的金屬球，兩金屬球分別累積大量正負電荷，進而產生高電場使氣體分子游離後放電，進而出現電弧。

(C) 如何推估韋氏起電機兩極間電壓？

參考羅道正教授於 2002 年亞太科學教育論壇, 第三期, 第二冊敘述以及 Physics for Scientists and Engineers 一書第 622 頁中提及，空氣為不良導體，利用已知一般空氣在電場強度超過  $3 \times 10^6$  V/m 的條件之下會被游離而開始導電的物理特性，推估當我們將韋氏起電機兩極距離拉開至 6mm 時，電壓應為 18kV。

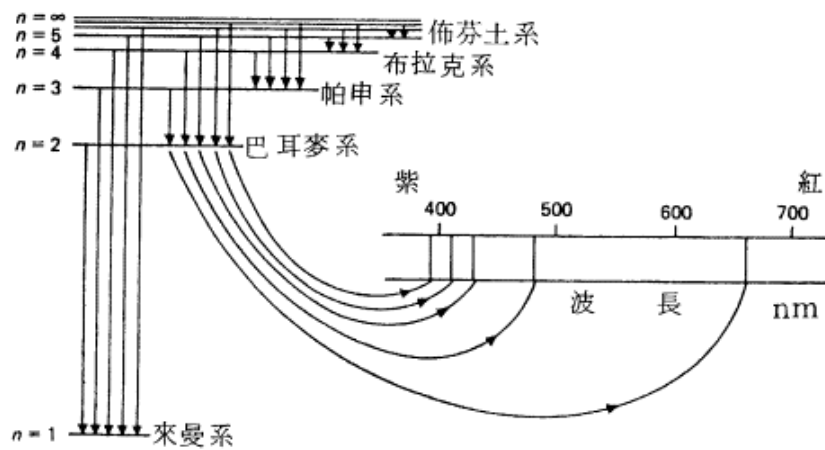


(2) 焰色實驗原理及金屬離子焰色總表

A. 原理:

許多金屬或它們的化合物在火焰上灼燒時都會使火焰呈現焰色，這叫做焰色反應 (flame test)，這是檢驗金屬或金屬陽離子最簡單的一種方法。

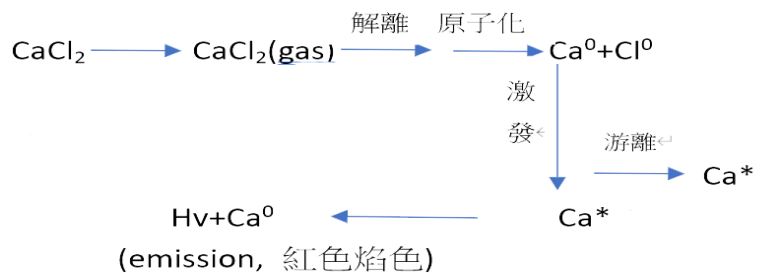
原子中的電子是按照殼層軌域來排布的，而每一層都有不同的軌域，這些軌域有能量高低之分。當金屬或金屬化合物在火焰上灼燒時，金屬離子吸收了能量，有一部分電子躍遷到能量較高的軌域上，金屬離子由基態轉變為激發態。激發態的離子不穩定，很快便會轉變為穩定的基態離子並且放出能量，這時能量以光能的形式表現出來。由於不同元素的光譜是不一樣的，金屬離子放出光能時，會放出波長不同的光，利用不同元素的光譜，我們不僅可以鑑別元素，也可以發現新的元素（比如氦、鉀）。根據這個原理，現代化學分析測試中，常用原子吸收光譜確定物質中含有的金屬元素。



氫原子的發射光譜


圖 3 氫原子的發射光譜[十四]

B. 焰色反應反應式



C. 離子焰色總表

表 4 離子焰色總表

+1 價金屬離子			
金屬離子	Li <sup>+</sup> (氯化鋰)	Na <sup>+</sup> (氯化鈉)	K <sup>+</sup> (氯化鉀)
焰色圖片			
顏色	紅色	橘色	紫藍色
+2 價金屬離子			
金屬離子	Ni <sup>+2</sup> (硫酸鎳)	Ba <sup>+2</sup> (氯化鋇)	Cu <sup>+2</sup> (硫酸銅)
焰色圖片			
顏色	橘紅色	黃色	綠色
+3 價離子			
離子	B <sup>+3</sup> (硼酸)		
焰色圖片			
顏色	綠色		

### (3) 原子光譜與簡易光譜儀原理

#### A. 發射光譜

將光通過三稜鏡，因頻率不同而產生不同角度的折射，形成分離的現象，再藉由偵測器（屏幕顯示或底片感光）所得的光帶，即稱為發射光譜。

#### B. 原子光譜

氣體原子在放電管中受到高電壓的激發，僅輻射若干特定頻率的光，經三稜鏡的折射，得到不連續的亮線，即為原子光譜。

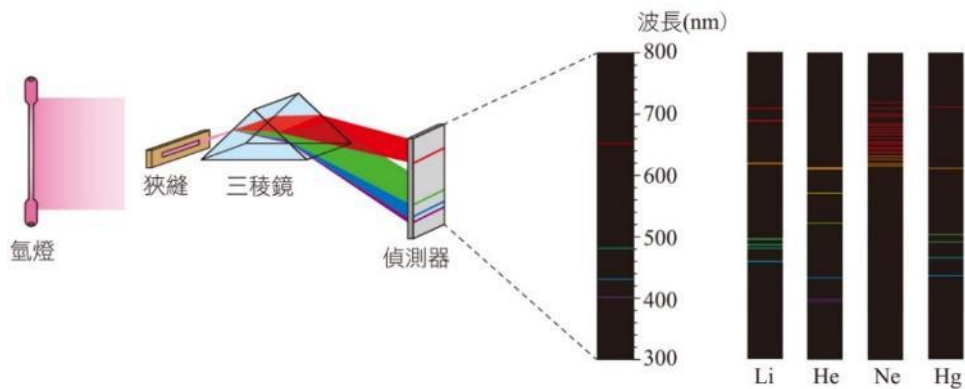


圖 4 原子光譜形成說明[ 龍騰 選修化學 II]

#### C. 光譜儀

將待測物汽化後因電子在能階中躍遷造成放光，混亂角度的光線通過狹縫，使光盡量呈現平行光進入光柵(表面常由多條平行、等寬、且等間隔的狹縫或刻槽組成，利用光之繞射與干涉所製成的分光器)後，造成分光效果，以達到分析光源內所含原子種類。

D. 本實驗依照以上原理，以酒精膏撒上含不同金屬離子化合物，並以火焰能量激發電子，以獲取光源進到光譜儀捕捉原子光譜，再透過圖譜分析原子種類，佐證火焰中原子、焰色和化合物中金屬離子，確實為同一元素。

## 2. 實驗流程圖

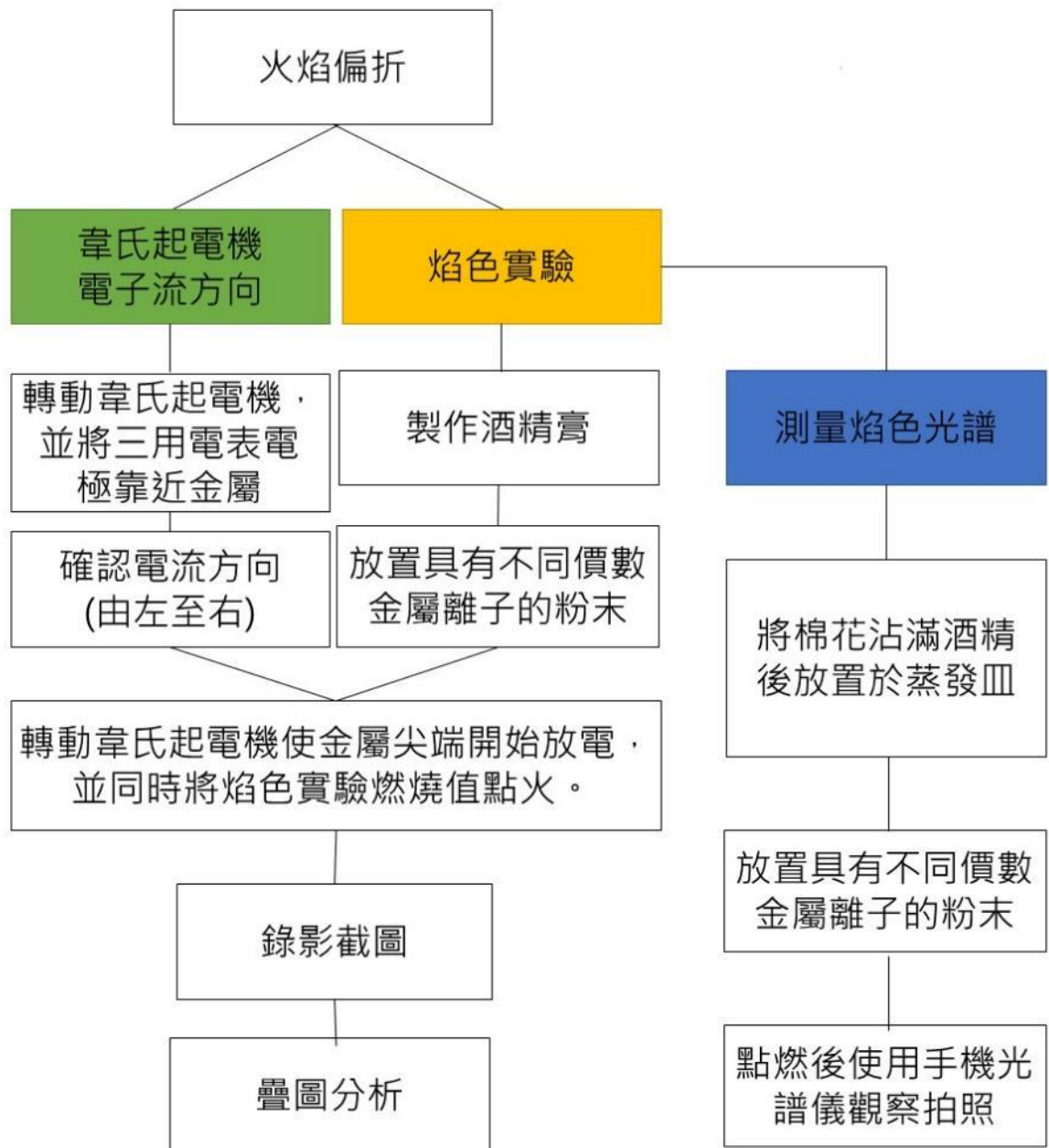


圖 5 實驗流程圖

### 3. 實驗設計及研究過程

#### (1) 確認韋氏起電機電子跳躍方向

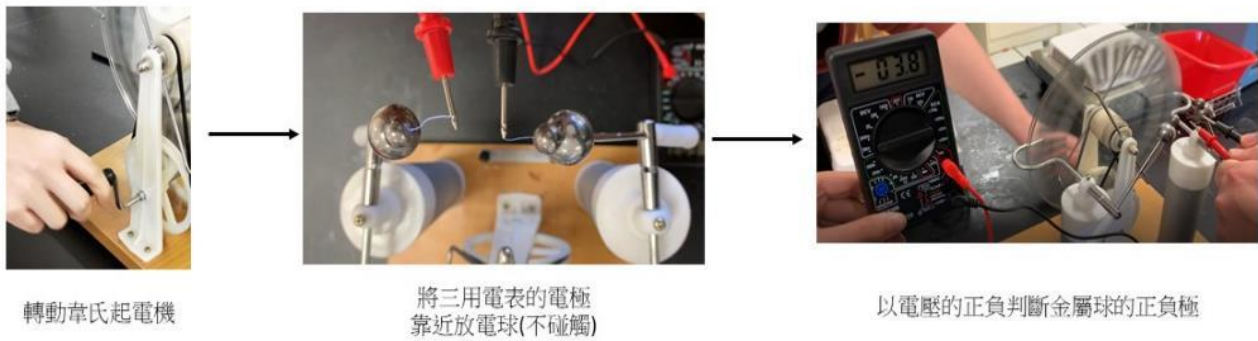


圖 6 確認韋氏起電機電子跳躍方向流程圖

#### (2) 製作酒精膏

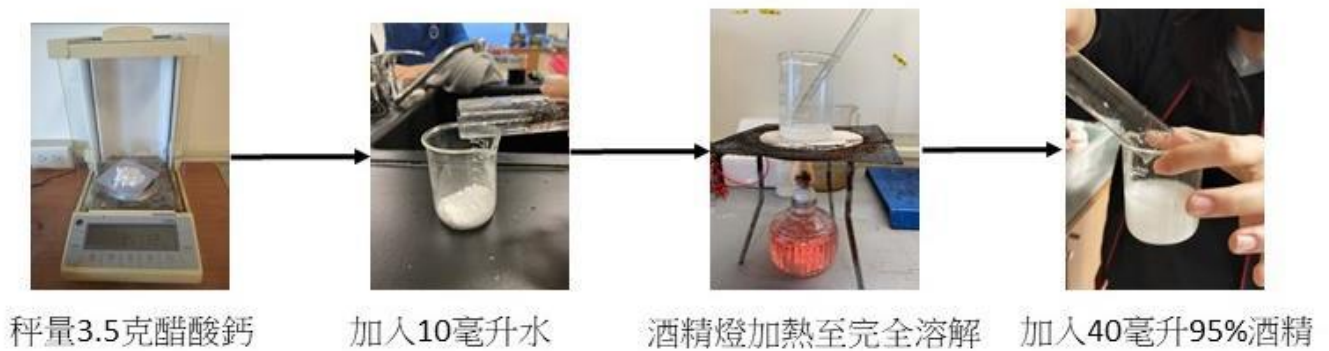


圖 7 酒精膏製作流程圖

### (3) 架設實驗裝置及實驗流程

#### A. 實驗裝置

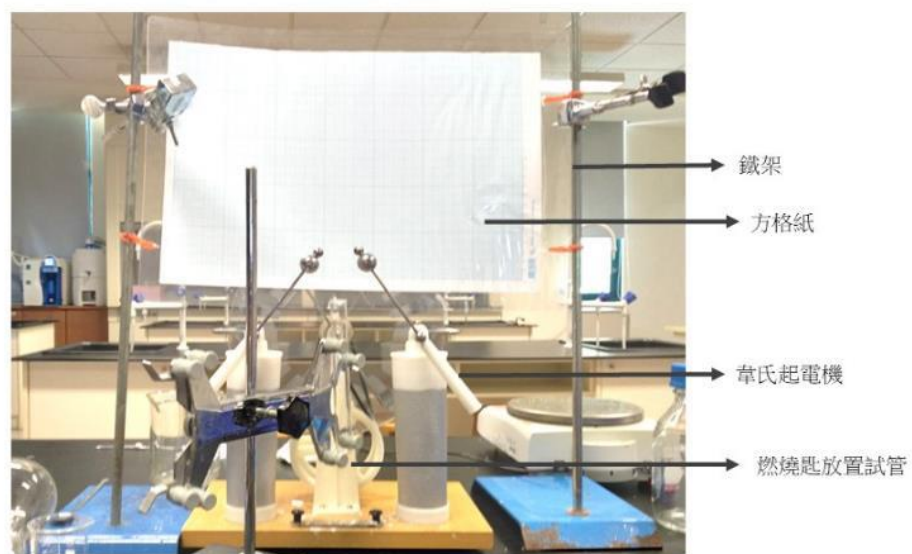


圖 8 焰色偏轉實驗裝置圖

#### B. 實驗流程

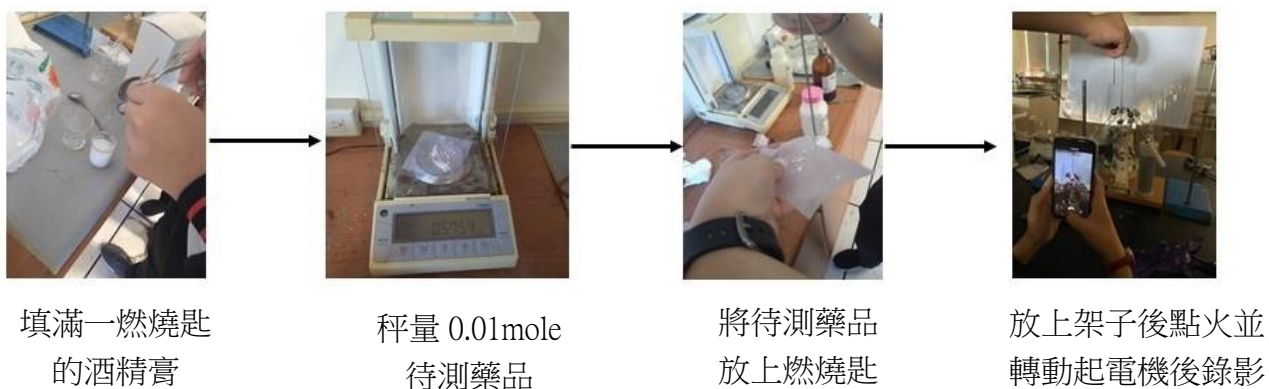


圖 9 焰色偏轉實驗流程圖



(4) 分析火焰偏折角度

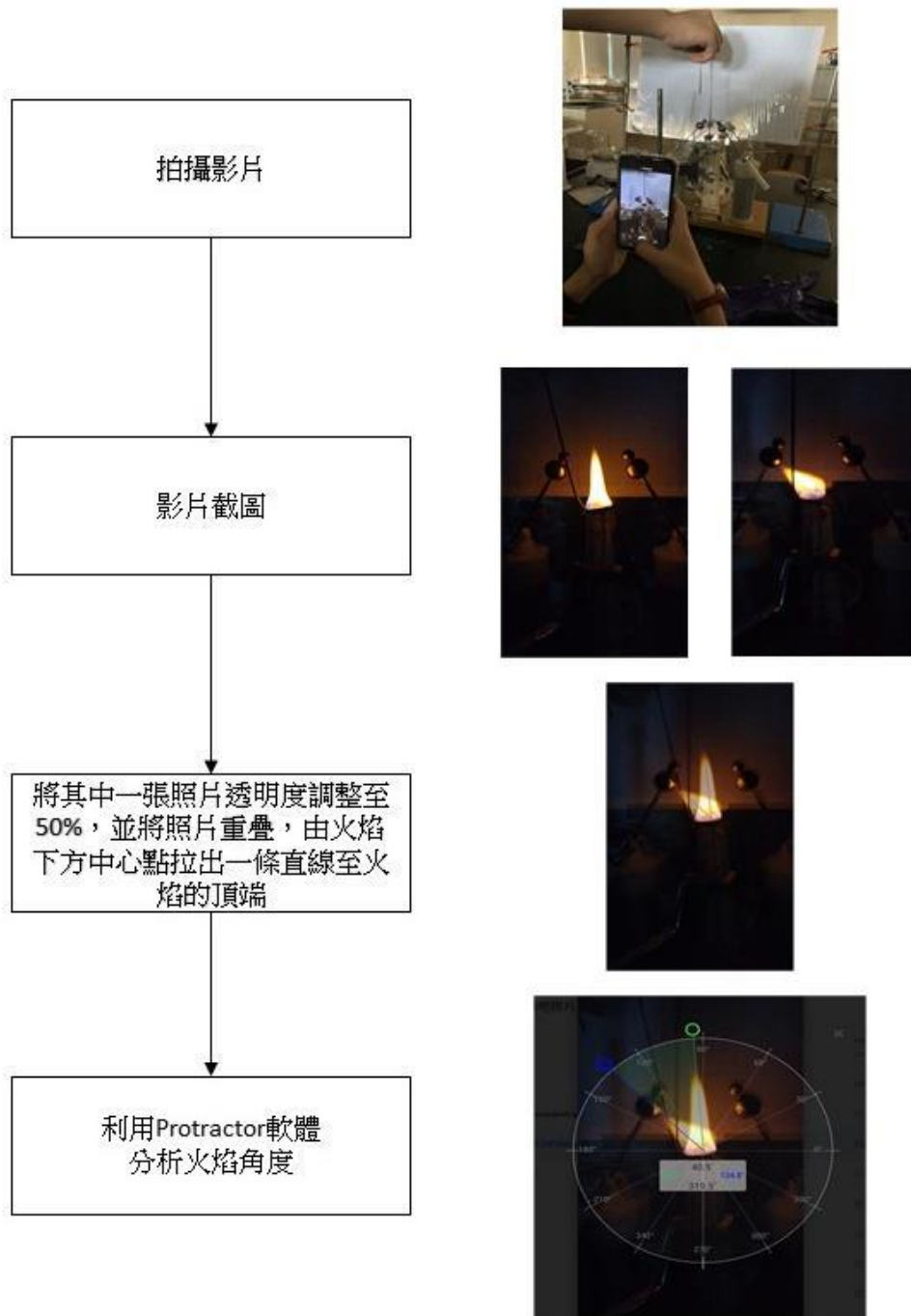


圖 10 分析火焰偏折角度流程圖

(5) 利用光譜儀檢測焰色中的元素

因實驗四焰色太暗，拍不出光譜，故改用棉花加酒精當作燃料，化合物的量與偏轉實驗相同為 0.01 mole。

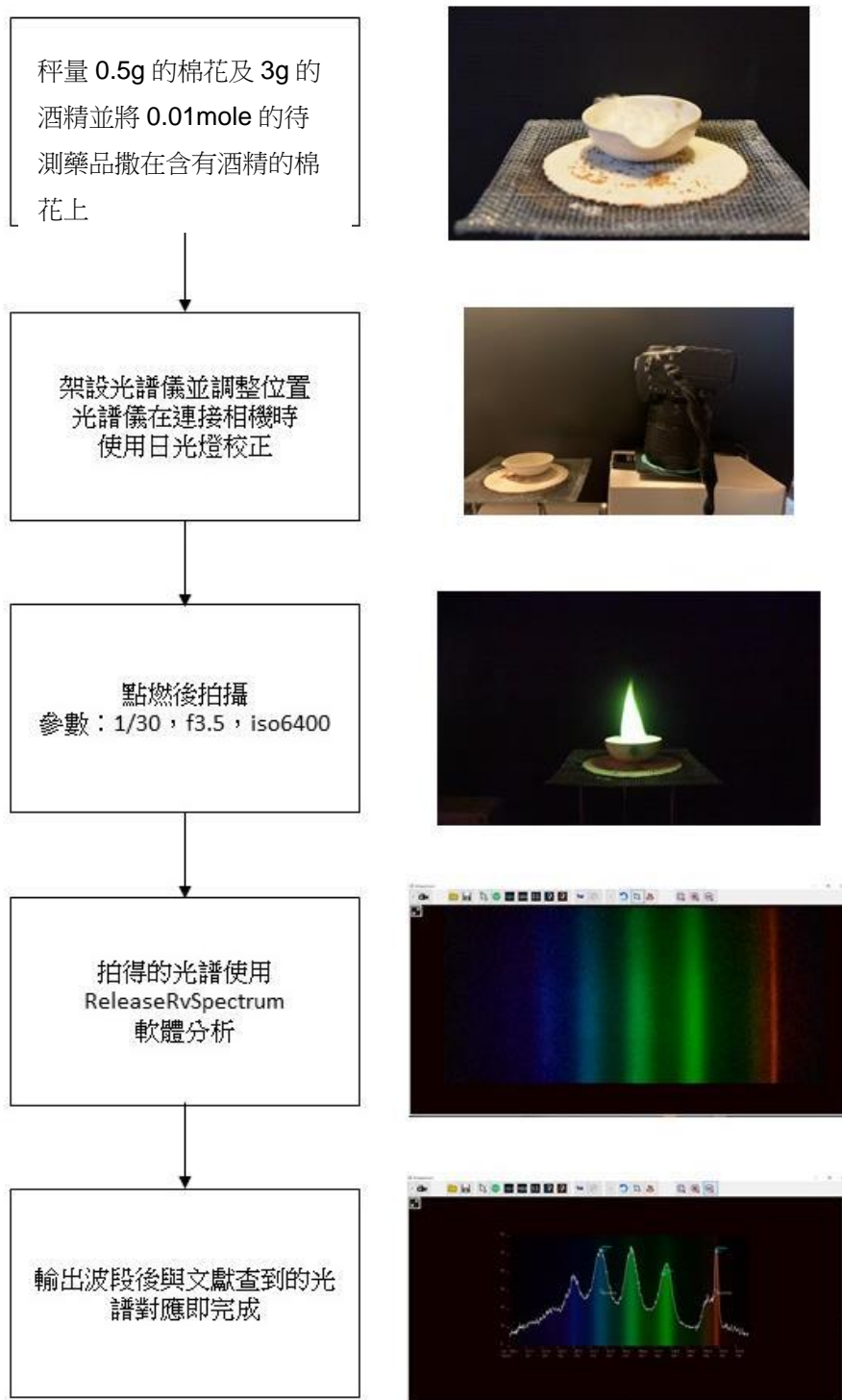


圖 11 光譜儀檢測流程圖



### 三、 研究結果及討論

#### (一) 研究結果

##### 1. 確認韋氏起電機正負極

由三用電表直流電壓數值顯示，  
左邊金屬電極為負極，右邊為正極。

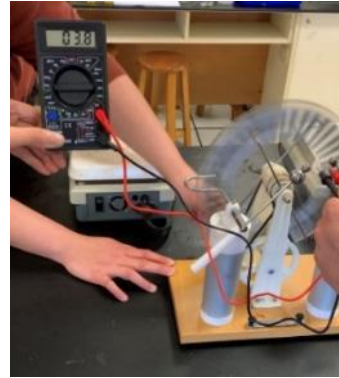
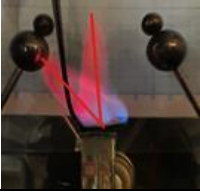
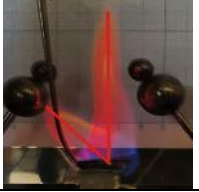
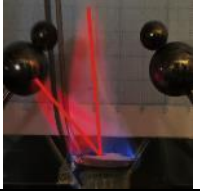







圖 12 確認韋式起電機正負極示意圖

##### 2. 焰色實驗中火焰在相同高壓靜電下的偏折角度

#### +1 價離子化合物


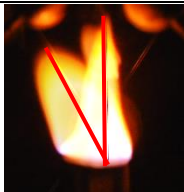
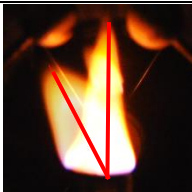



表 5 進行+1 價離子化合物焰色偏折角度實驗結果



化合物	氯化鋰 LiCl (Li <sup>+</sup> )		
重複試驗	一	二	三
照片			
角度	37.6°	42.9°	36.9°
平均角度(度)	39.13±3.28		
化合物	氯化鈉 NaCl (Na <sup>+</sup> )		
重複試驗	一	二	三
照片			
角度	48.2°	54.6°	37.6°
平均角度(度)	46.80±8.59		

化合物	氯化鉀 KCl ( $K^+$ )		
重複試驗	一	二	三
照片			
角度	39°	42.7°	33.4°
平均角度(度)	38.37 ±4.68		
+1 價離子化合物			
化合物	LiCl	NaCl	KCl
平均角度(度)	39.13 ±3.28	46.80 ±8.59	38.37 ±4.68
+1 價離子化合物平均角度(度)	41.42 ±4.67		

### +2 價離子化合物

表 6 進行+2 價離子化合物焰色偏折角度實驗結果

化合物	氯化鋇 BaCl <sub>2</sub> ( $Ba^{+2}$ )		
重複試驗	二	三	四
照片			
角度	25°	27°	28°
平均角度(度)	26.67 ±1.53		
化合物	硫酸銅 CuSO <sub>4</sub> ( $Cu^{+2}$ )		
重複試驗	一	二	三
照片			
角度	19°	20°	19°

平均角度(度)	19.33±0.58		
化合物	硫酸鎳 NiSO <sub>4</sub> (Ni <sup>+2</sup> )		
重複試驗	一	二	三
照片			
角度	15°	19°	19°
平均角度(度)	17.67±2.31		
<b>+2 價離子化合物</b>			
化合物	BaCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	NiSO <sub>4</sub>
平均角度	26.67 °±1.53 °	19.33 °±0.58 °	17.67 °±2.31 °
<b>+2 價離子化合物平均角度(度)</b>	<b>21.22±4.79</b>		

### +3 價離子化合物

表 7 硼酸焰色偏折角度實驗結果


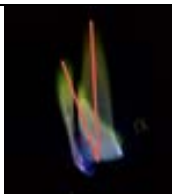

化合物	硼酸 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (B <sup>+3</sup> )		
重複試驗	一	二	三
照片			
角度	23°	16.9°	20°
平均角度(度)	19.97±3.05		

表 8 焰色偏折角度實驗平均值

<b>綜合整理</b>			
離子	<b>+1 價離子</b>	<b>+2 價離子</b>	<b>+3 價離子</b>
平均角度(度)	41.42±4.67	21.22±4.79	19.97±3.05

3. 光譜儀檢測焰色中的元素

+1 價離子化合物


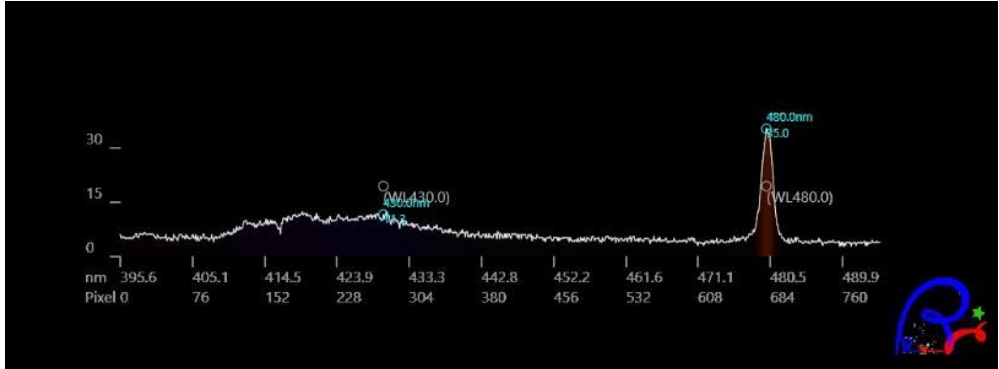
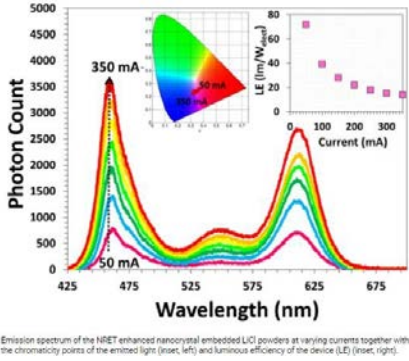
化合物	氯化鋰 LiCl (Li <sup>+</sup> )
實驗光譜 (a)	
分析光譜圖 (b)	
標準光譜 (c)	

圖 13(a) 本實驗氯化鋰 LiCl 實驗光譜圖

(b) 本實驗氯化鋰 LiCl 經 RvSpectrum 分析後之光譜圖

(c) 氯化鋰 LiCl 標準光譜[十一]


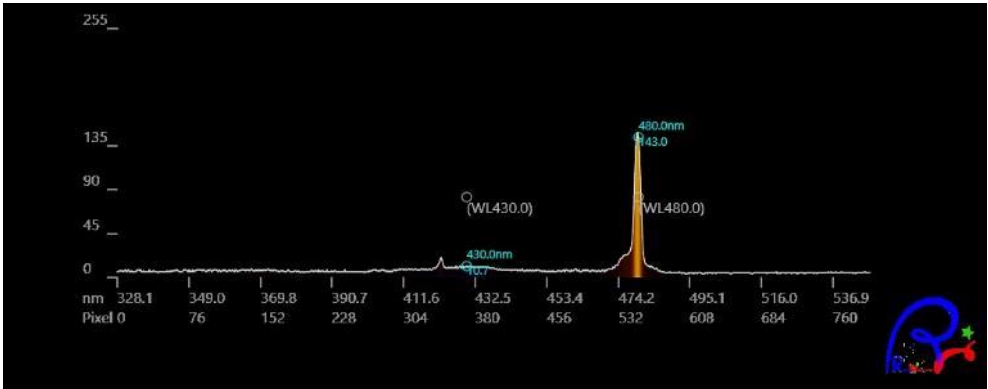
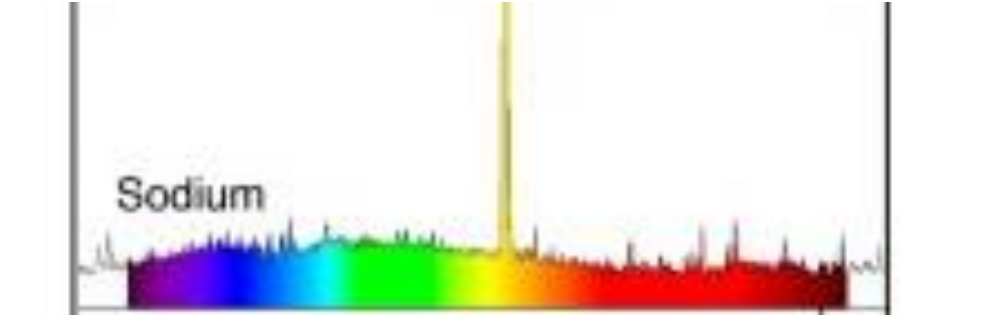
化合物	氯化鈉 NaCl (Na <sup>+</sup> )
實驗光譜 (a)	
分析光譜圖 (b)	
標準光譜 (c)	

圖 14(a) 本實驗氯化鈉 NaCl 實驗光譜圖

(b) 本實驗氯化鈉 NaCl 經 RvSpectrum 分析後之光譜圖

(c) 氯化鈉 NaCl 標準光譜[十二]


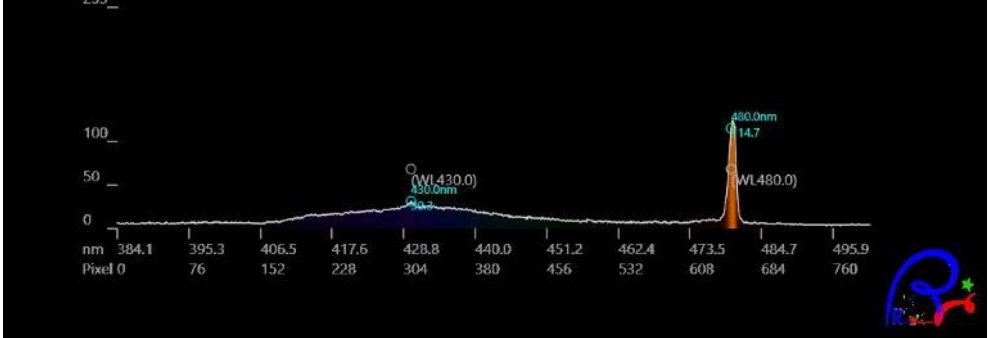
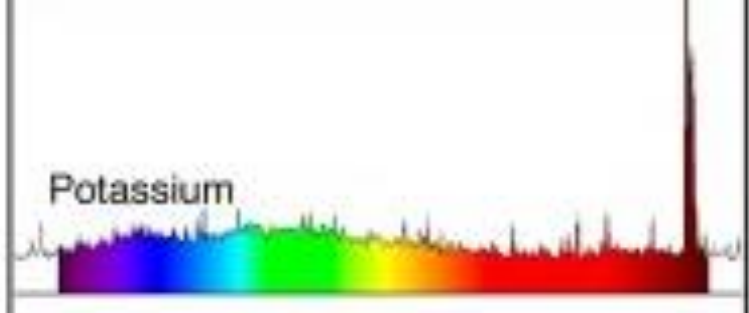
化合物	氯化鉀 KCl ( $K^+$ )
實驗光譜 (a)	
分析光譜圖 (b)	
標準光譜 (c)	

圖 15(a) 本實驗氯化鉀 KCl 實驗光譜圖

(b) 本實驗氯化鉀 KCl 經 RvSpectrum 分析後之光譜圖

(c) 氯化鉀 KCl 標準光譜[十二]

+2 價離子化合物


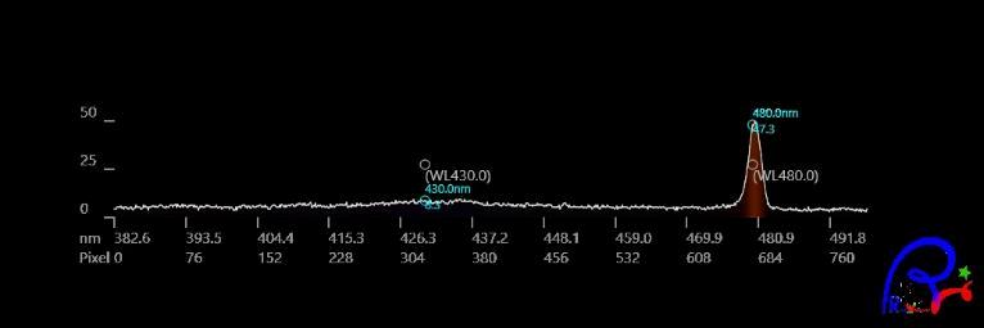
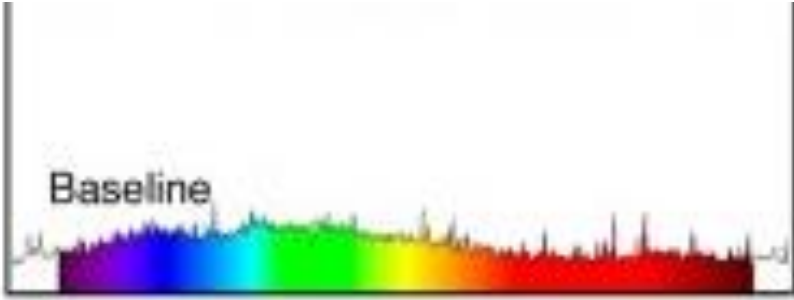
化合物	氯化鋇 BaCl <sub>2</sub> (Ba <sup>+2</sup> )
實驗光譜 (a)	
分析光譜圖 (b)	
標準光譜 (c)	

圖 16(a) 本實驗氯化鋇 BaCl<sub>2</sub> 實驗光譜圖

(b) 本實驗氯化鋇 BaCl<sub>2</sub> 經 RvSpectrum 分析後之光譜圖

(c) 氯化鋇 BaCl<sub>2</sub> 標準光譜[十二]


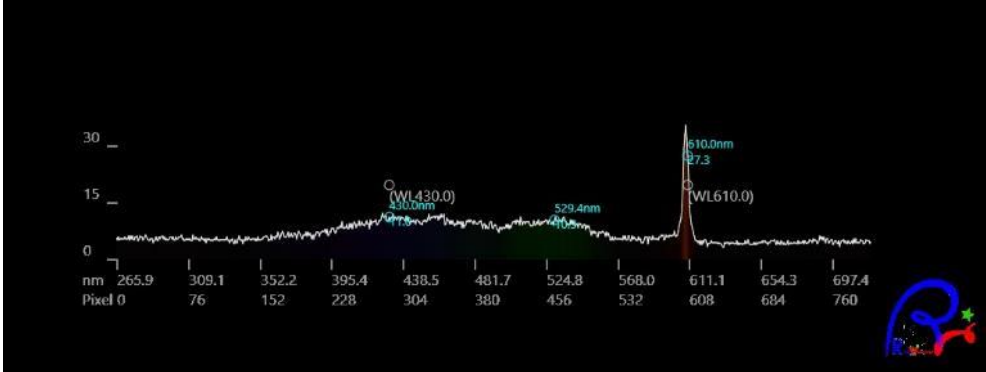
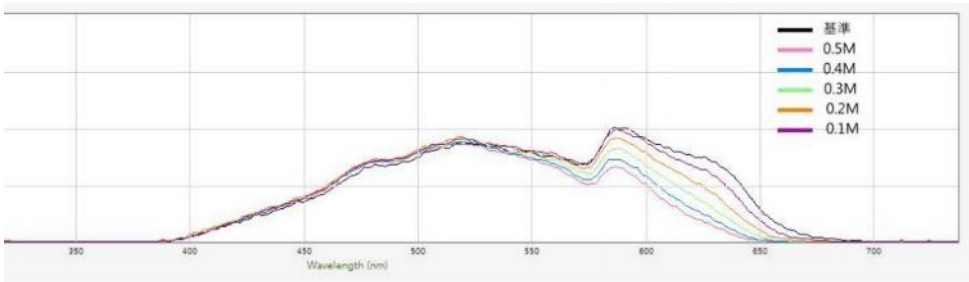
化合物	硫酸銅 $\text{CuSO}_4$ ( $\text{Cu}^{+2}$ )
實驗光譜 (a)	
分析光譜圖 (b)	
標準光譜 (c)	

圖 16(a) 本實驗硫酸銅  $\text{CuSO}_4$  實驗光譜圖

(b) 本實驗硫酸銅  $\text{CuSO}_4$  經 RvSpectrum 分析後之光譜圖

(c) 硫酸銅  $\text{CuSO}_4$  標準光譜[十]





## +3 價離子化合物

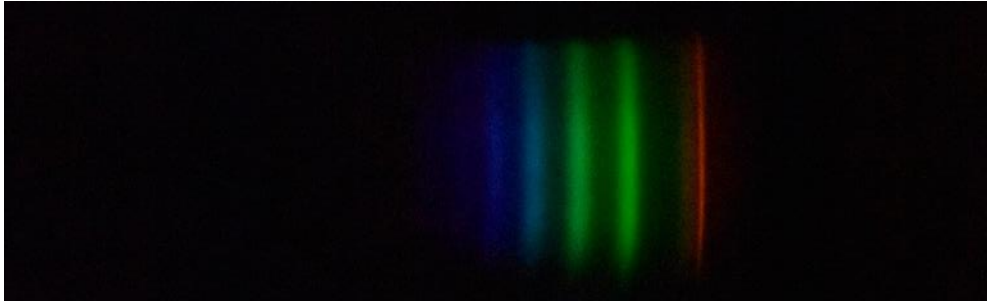
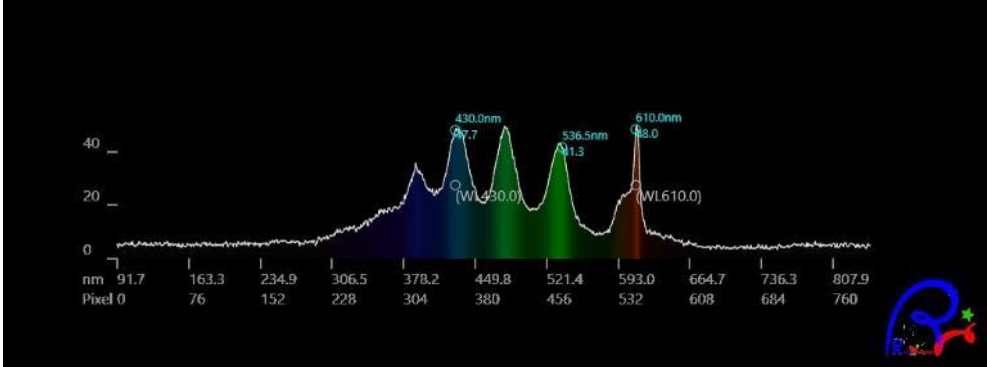
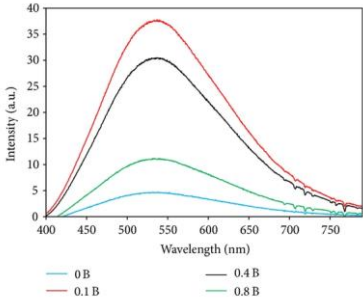
化合物	硼酸 $\text{H}_3\text{BO}_3$ ( $\text{B}^{+3}$ )
實驗光譜 (a)	
分析光譜圖 (b)	
標準光譜 (c)	

圖 17(a) 本實驗硼酸  $\text{H}_3\text{BO}_3$  實驗光譜圖

(b) 本實驗硼酸  $\text{H}_3\text{BO}_3$  經 RvSpectrum 分析後之光譜圖

(c) 硼酸  $\text{H}_3\text{BO}_3$  標準光譜

[Rare Earth Free  $\text{Zn}_3\text{V}_2\text{O}_8$  Phosphor with Controlled Microstructure and Its Photocatalytic Activity Article in International Journal of Photoenergy · August 2013]

## 討論

1. 由三用電表實驗結果我們可以知道韋式起電機的電子跳躍方向是由左至右的。
2. 火焰偏折角度實驗綜合整理

表 8 焰色偏折角度實驗平均值

綜合整理			
離子	+1 價離子	+2 價離子	+3 價離子
平均角度(度)	41.42±4.67	21.22±4.79	19.97±3.05

價數與偏折角度關係圖

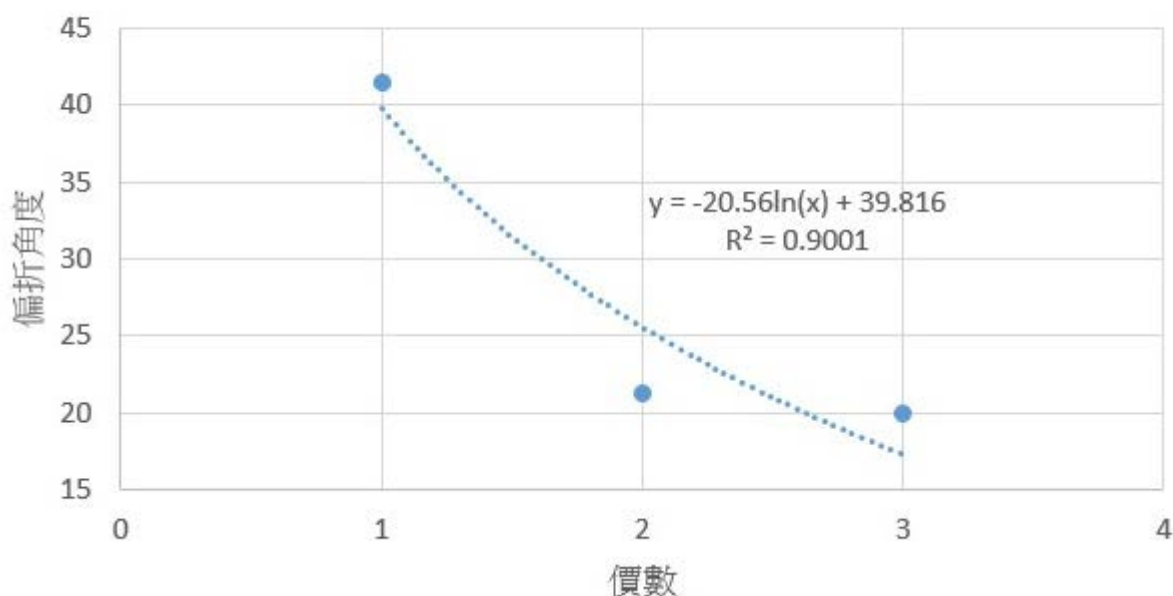


圖 18 角度與價數關係圖

- (1) 從平均數據中我們可以發現**角度是隨著價數變大而變小的**。
- (2) 依據本次實驗影像及數據，我們發現火焰偏折的方向，不論我們使用的金屬離子為何，**均偏向負極(左邊金屬球)**。由此可知，焰色實驗的火焰中確實有帶正電的金屬離子在內，故我們所熟知的火焰並不僅僅是電子躍遷放出的光能(電磁波)，而是真有物質(正電離子)存在其中，故我們推測焰色實驗的方程式中，並沒有完整描述火焰中的真實帶電狀態，而只是將電子躍遷後的狀態顯示出來。

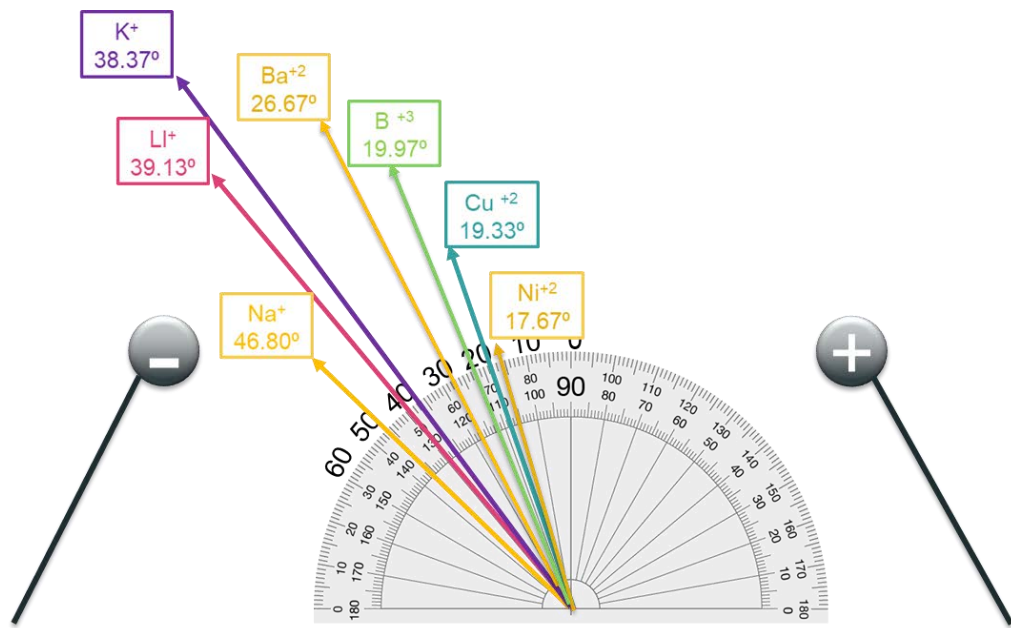


圖 19 金屬離子在電場中的角度示意圖

3. 透過光譜實驗，我們使用手機光譜儀搭配單眼相機來捕捉焰色的光譜。實驗所取得的焰色的亮度過低，以致於光譜顯色並不明顯。經過軟體的計算及比較其他論文及網站資料後發現，我們實際拍攝得到的離子焰色光譜圖對應到的波長與資料上的波長都只有少許誤差，即：在該元素該出現的波長位置都有相對應的波峰，只是由於光線量的不足才導致波峰不高。

## 四、結論與應用

### (一) 結論

1. 我們利用三用電表檢測韋氏起電機的電流方向，判斷出韋氏起電機左邊金屬球為負極，右邊金屬球為正極，而火焰偏折角度皆傾向左邊金屬球，證明火焰中確實含帶正電離子。
2. 在光譜圖驗證下，能更清楚地確認焰色中的確含有相對應的正電離子，進一步佐證結論第一點。
3. 由角度偏折實驗發現火焰不單被靜電場的負極吸引而偏折，更重要的是，在實驗數據上發現隨著正電離子本身所帶的價數變大而造成偏折角度變小，故我們**推測**火焰不只是能量的呈現，其中確實存在原子在失去電子後的正電離子。

### (二) 應用

這次的研究我們發現金屬離子在電場中燃燒的時候會有角度偏折的不同，並且在金屬電極的表面上有產物產生，我們認為這樣的裝置在未來在辨認金屬成分及電鍍產業上可以有很大的應用。

## 參考文獻資料

1. 吳嘉輝、周靖榮、劉騏鋒·電場對火焰影響之研究·中華民國第 57 屆中小學科學展覽會高級中等學校組物理與天文學科·取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=4&sid=13674&print=1>
2. 林筱彤、陳芊卉·自製光譜儀完全攻略·中華民國第 56 屆中小學科學展覽會高級中等學校組 電腦與資訊學科 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/052509.pdf>
3. 國立大甲高級中學化學科廖旭茂老師、國立彰化師範大學化學系楊水平副教授·用固態燃料錠演示焰色試驗 (Flame Test using Solid Fuel Tablets) ·科學 Online ·取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=30647>
4. 賴彥霖、楊金恒、王子豪·電光石火-閃電之色彩研究·中華民國第 54 屆中小學科學展覽會國中組 物理科·取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030107.pdf>

5. 許紹謙、楊水平·酒精塊的製作---火鍋常用的熱源之一·中學化學示範實驗·取自  
<http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26872>
6. 羅道正·亞太科學教育論壇,第三期,第二冊,文章十(二零零二年十二月)電蚊拍的教學  
應用 [https://www.eduhk.hk/apfslt/v3\\_issue2/lwodj/lwodj6.htm#six](https://www.eduhk.hk/apfslt/v3_issue2/lwodj/lwodj6.htm#six)
7. 維基百科-焰色反應  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%84%B0%E8%89%B2%E5%8F%8D%E5%BA%94>
8. 韋氏起電機-國立中央大學科學教育中心  
<http://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/211-item-title>
9. 手機光譜儀分析教學  
<https://writescience.wordpress.com/2013/02/25/rocket-science-in-my-pocket-2/>
10. Physics for Scientists and Engineers Subsequent 版本·Douglas C. Giancoli
11. 氯化鋰 LiCl 標準光譜,取自:  
[https://www.researchgate.net/figure/Emission-spectrum-of-the-NRET-enhanced-nanocrystal-embedded-LiCl-powders-at-varying\\_fig4\\_285322188](https://www.researchgate.net/figure/Emission-spectrum-of-the-NRET-enhanced-nanocrystal-embedded-LiCl-powders-at-varying_fig4_285322188)
12. Neel, Bastien & Crespo, Gaston & Perret, Didier & Cherubini, Thomas & Bakker, Eric. (2014). Camping Burner-Based Flame Emission Spectrometer for Classroom Demonstrations. Journal of Chemical Education. 91. 1655-1660. 10.1021/ed4008149.
13. Role of Glycine as a Complexing Agent in Nickel Electrodeposition from Acidic Sulphate Bath. Article in International Journal of Electrochemical Science · June 2015.
14. 氫離子發射光譜,取自:  
[http://163.28.10.78/content/senior/chemistry/tp\\_sc/content1/number3/1/9-2.htm](http://163.28.10.78/content/senior/chemistry/tp_sc/content1/number3/1/9-2.htm)

## 【評語】 160014

火焰的電性，值得探究，可惜非新穎議題，曾多次出現在全國科展作品，且此工作似乎沒有超越參考文獻一的工作創意。

引燃數種物質的燃燒火焰，簡易光譜分析，讀取電場偏折度，用數種火焰生成物質，紀錄焰光影像，分析焰光光譜，實驗參數豐富。數據分析和製圖方式很標準，但呈現不夠清晰。以不同價數離子更動火焰被電場偏折度，能證實火焰中確實含帶正電離子，但價數與偏折角度部分，為何大價數的離子火焰偏折角度小，值得再深入原理的探討。