

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

佳作

040807

察「焰」觀「色」-以自製分光儀檢視焰色實驗

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 蘇玟瑜	洪瑞和
高二 林欣曄	林盈菁
高二 陳盈均	

關鍵詞： 分光儀、焰色實驗

察「焰」觀「色」－以自製分光儀檢視焰色實驗

摘要

本實驗以透明 DVD 光碟片、配合網路攝影機，自製一台可照相、攝影的分光儀，可用於檢測未知線光譜的波長。與已知文獻資料比較，我們自製的分光儀具有良好的可靠性與再現性，具有實用價值。

焰色實驗在實際操作上並不容易看出明顯顏色、也不易分辨出相近顏色的色光究竟有什麼不同，本實驗也討論了焰色實驗操作的條件。配合自製分光儀，可區分出鈣、鋇在焰色上的差異。

壹、研究動機

太陽光透過三稜鏡能分散出各種不同色光，這是小時就知道的事。剛好在高二時學到氫原子光譜，電子從激發態降回基態時可放出特定波長的光譜線。而氣態原子線光譜所透露的正是原子內部能階的訊息。老師曾提到：各種氣體原子都有其特殊的線光譜，很多新元素的發現就是透過光譜資料確認的。這讓我們興起想觀察各種光源光譜的念頭，我們想利用生活週邊可得的材料自製分光儀，並將光譜影像記錄下來分析，以了解人的眼睛所看到的跟透過機器看到的，究竟有什麼不同。

貳、研究目的

- 一、利用日常生活中常見器物，接上網路攝影機，自製可照相、錄影的分光儀。
- 二、找出焰色反應的最佳條件
- 三、利用自製分光儀觀察、記錄金屬的焰色，與肉眼所見，究竟有何不同。
- 四、一機多用：拓展分光儀用途，如可見光吸收、螢光反應光譜偵測等用途。

參、研究設備及器材

實驗一-1	透明 cd-rom、dvd 光碟片、量角器、雷射筆(波長 532nm)
實驗一-2	透明 dvd 光碟片、鐵架、紙箱、紙筒、黑布、網路攝影機(200 萬畫素)、飛機木、黑色噴漆、凸透鏡($f=10\text{cm}$)
實驗一-3	各色 LED、直流電源供應器、自製分光儀
實驗二-1	酒精燈、本生燈、白金絲、金屬鹽類 (KCl 、 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 、 FeCl_3)、碼表、數位相機
實驗二-2	燃料酒精、酒精膏、罐裝燃料、燃燒匙
實驗二-3	自製分光儀、本生燈、白金絲、金屬鹽類 (KCl 、 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 、 FeCl_3 、 NaNO_3 、 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 CuSO_4)

肆、研究過程及方法

一、前言：分光器與光譜

(一) 分光儀和分光器的核心：光柵：

所謂的分光儀(器)為一種光學儀器，用於將光源的光譜依波長解開並顯示出來，以便分析該物質的特性。一般分光器都是用稜鏡或光柵來觀察光譜。因為稜鏡較易損壞又比較難取得，本實驗我們使用光碟片做為光柵，不僅取得容易又能廢物利用。

(二) 光譜：

所有色光都是電磁波，差異在波長不同，透過儀器能把這些波長不同的光分散開，有了光譜，就算是顏色極為相近的光也可分辨它們的差異。

實驗一-1：利用雷射光測量 CD、DVD 光碟片光柵的繞射角度

實驗步驟：

1. 將透光式 CD 片裁成適當扇形，立於桌面。
2. 以雷射光垂直照射 CD 片，量出 CD 片至牆壁的距離，以垂直角度為原點 O，記下左右第一亮點、第二亮點的位置（如圖一、圖二）

實驗結果：

CD 片： $\theta_1=21^\circ$ ， $\theta_2=49^\circ$

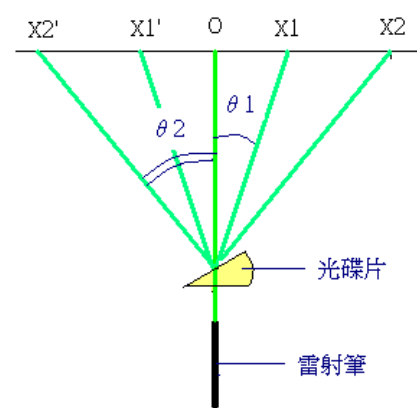
DVD 片： $\theta_1=19^\circ$ ， $\theta_2=42^\circ$

討論：

由文獻、實驗中可以得知：雷射單色光經過光柵後可以分散出許多亮點，而其中較靠近原點 O 的亮點亮度較高(第一繞射角)，其角度可用於計算光碟片的槽距。因 DVD 光碟片槽距較密，分光效果較 CD 光碟片佳。因此在之後的實驗都將網路攝影機(接受器)擺在 21° 的位置，才能捕捉到光譜。



圖一



圖二

實驗一-2：製作分光器並拍攝日光燈光譜

拿起透明光碟片，對著日光燈源一照，便可看到許多同心圓狀的光譜。因日光燈內壁雖然塗佈了一層磷光物質將汞蒸氣線光譜轉成連續可見光，但是透過光柵，仍隱約可見汞燈線光譜。因此，我們自製分光儀器時，先以日光燈為光源，做出一個可辨識日光燈光譜的分光儀。

圖三



實驗步驟：

1. 第一代：以紙箱作暗室，箱子一側開一個寬 1mm、長 2cm 的小狹縫。以兩支鐵棒作為支架，一支固定光碟片，另一支固定網路攝影機。由肉眼、電腦螢幕觀察所得光譜。
2. 第二代：將分光器小型化，利用紙筒隔絕外界光源干擾，紙筒上端貼上狹縫，下端則黏上反射式光碟片及網路攝影機。

3. 第三代(最終代)：仿光學臺架構，製作一具有滑軌、狹縫架、透鏡架，可改變觀測角度的木製光學台，以便進行調整。

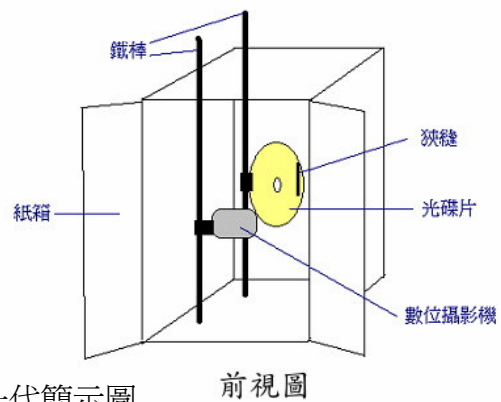
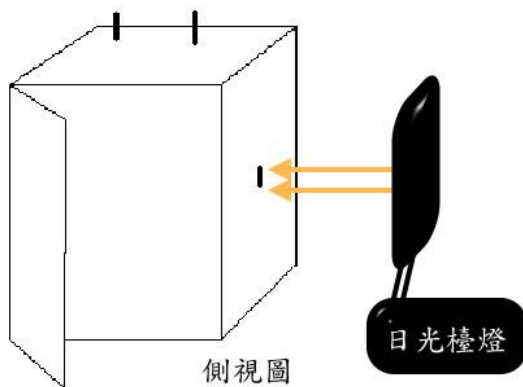
實驗裝置：

■第一代：

外觀：

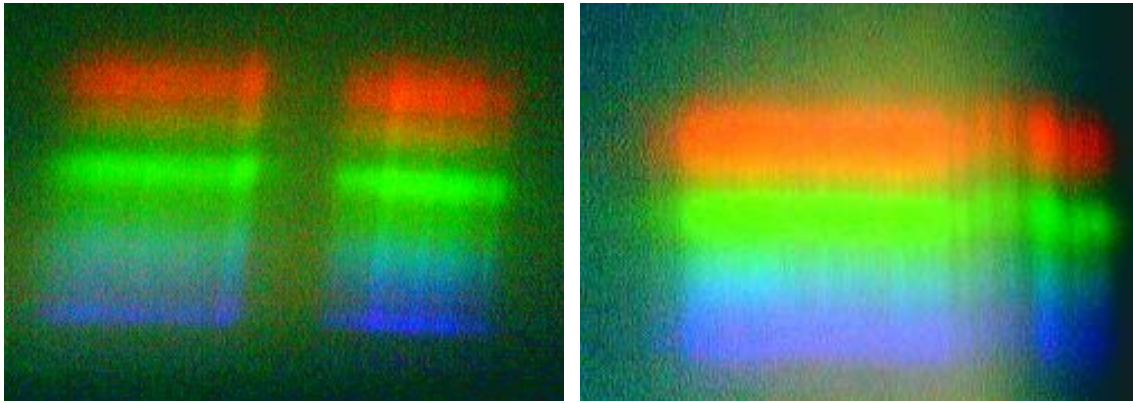


圖四：第一代實圖



圖五：第一代簡示圖

實驗結果：



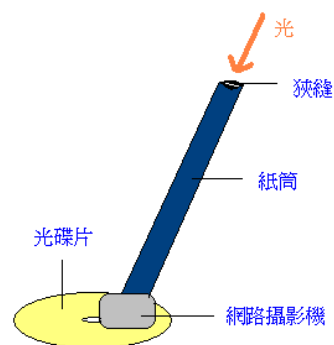
討論：由於紙箱過於龐大，且紙箱還是有干擾光線進入，拍攝時，每每因角度變化使影像再現性不佳。因此，我們改良製作第二代。

■第二代：



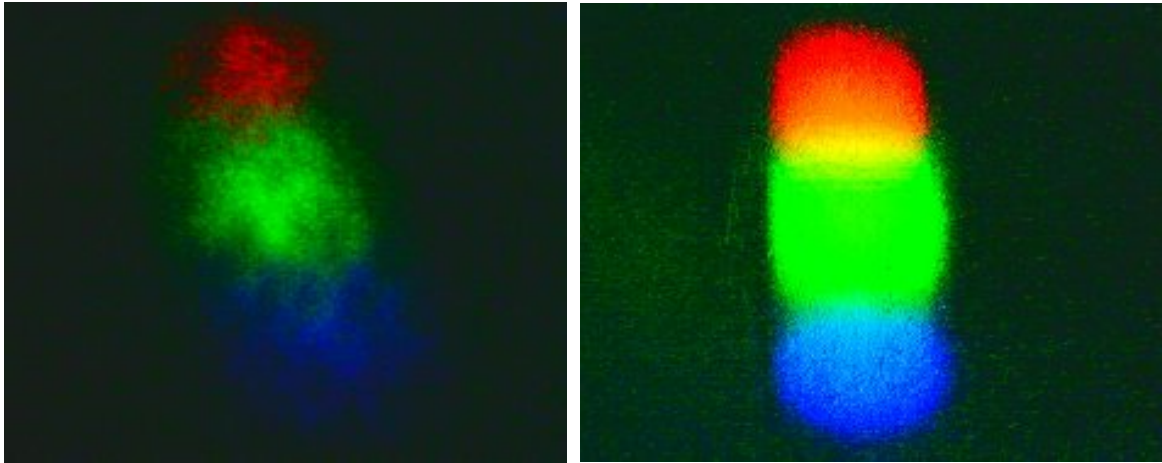
圖七：第二代外觀：

改用反射式光碟片，攝影機調整好角度後，便可接受通過狹縫、紙筒照在光碟片上的繞射光譜。大大減少了裝置體積。



圖八：第二代分光儀簡圖

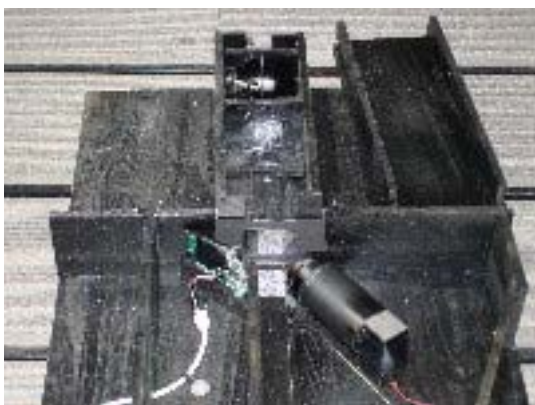
實驗結果：



討論：因紙筒太長，光線通過紙筒打到光碟片反射後強度會變得很弱，改變紙筒長度後網路攝影機照不到影像，與原先預想不同。試了一個多月，總無法令人滿意。後來我們改在分光儀上裝置透鏡，改良光學儀器結構，總算得到比較滿意的結果。

第三代(最終代)：光柵分光後兩側一邊接網路攝影機，另一側接上太陽能電池觀察光強弱變化。

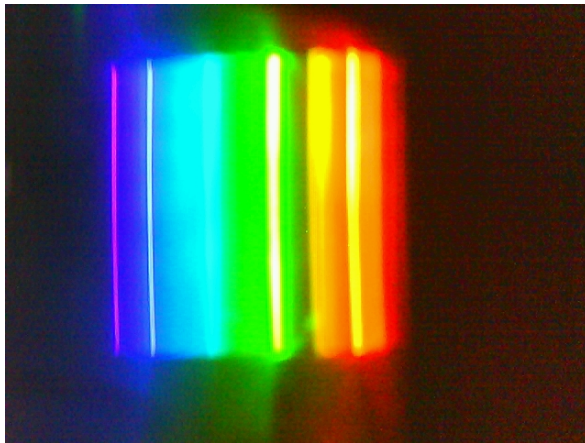
外觀：





圖十一：第三代簡示圖

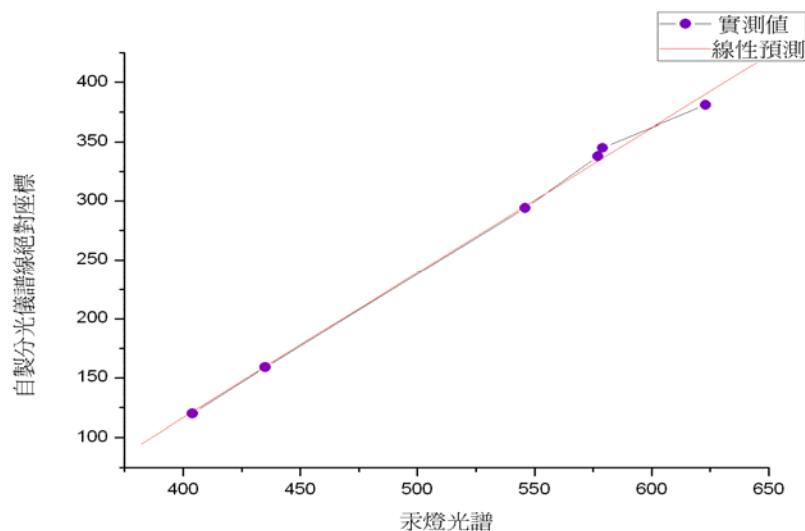
實驗結果：



(攝影機解晰度：640×480)

討論：調整好最清晰的影像後，我們直接用熱熔膠將網路攝影機固定在自製光學平臺上，蓋上上蓋後，就可透過電腦操作、觀察或拍攝動態、靜態影像。

4.以已知波長製作波長-位置對應線：日光燈（含汞蒸氣）已知線光譜：404nm、435nm、546nm、577&579nm、623nm、690nm，將圖以小畫家開啓後，以滑鼠指在光譜線上讀取x軸座標，與已知汞燈的線光譜可得一線性關係，如圖所示：線性相關性 $R=0.9984$



因此，除了網路攝影機所拍下圖形直接辨認顏色外，我們也可以利用圖形座標軸位置對應出實際的波長。

討論：爲了做出與光學臺相當的分光效果，我們利用工藝課常用的飛機木，自製光學臺，最後以黑色噴漆將整個裝置噴黑，阻擋掉不必要光線的干擾。這樣設計的優點是我們可以根據光源條件調整狹縫寬度及狹縫、凸透鏡、光柵三者距離，以得到較佳效果。因此我們後來都利用此裝置來分析其他光源。

實驗一-3：研究發光二極體的光譜

實驗原理：

目前市售發光二極體(LED)可查得其發光波長，白光二極體多半由紫外光二極體配合螢光粉或由三種顏色的二極體整合而成。我們在此利用自製的分光儀來檢視市售發光二極體光源波長。

III - V 族 LED	AlGaAs DH 紅色	AlGaInP DH 琥珀色	AlInGaIn SQW 綠色	AlInGaIn SQW 藍色	AlInGaIn DH 藍色
波長	649nm	594nm	517nm	465nm	427nm

實驗步驟：

1. 準備紅色、黃色、綠色、藍色和白色 LED 燈，電源使用直流電源供應器。
2. 利用實驗二所做出的分光器拍攝其光譜、求出波長。

實驗結果：

1. 我們發現 LED 燈效果比實驗一用 PL 檯燈的效果差很多，明明 LED 燈亮度很強，卻很難在我們的分光器上接收到，不然就是光譜很模糊。我們猜想是否因為 LED 封裝時多為圓頭而使光源發散、亮度不均。所以我們做了以下廷得耳效應實驗來看各 LED 點亮時光源的發散情形：



紅色 L E D 燈

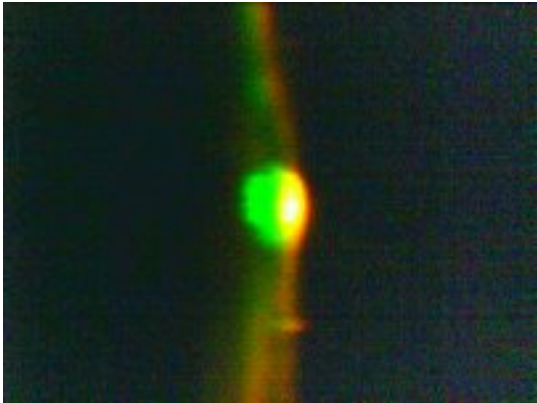
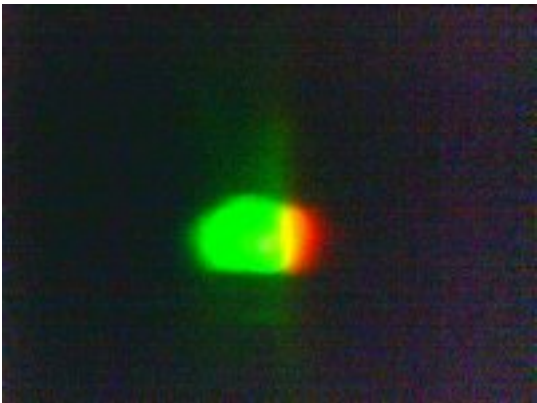
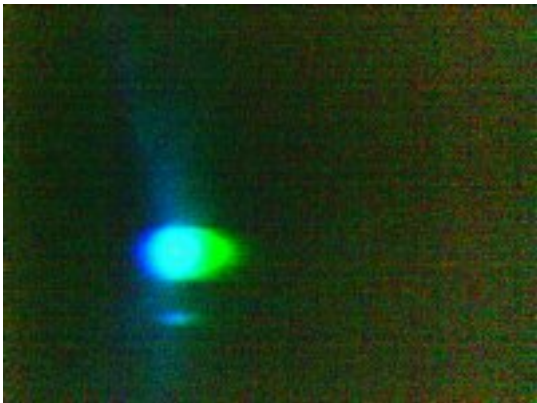


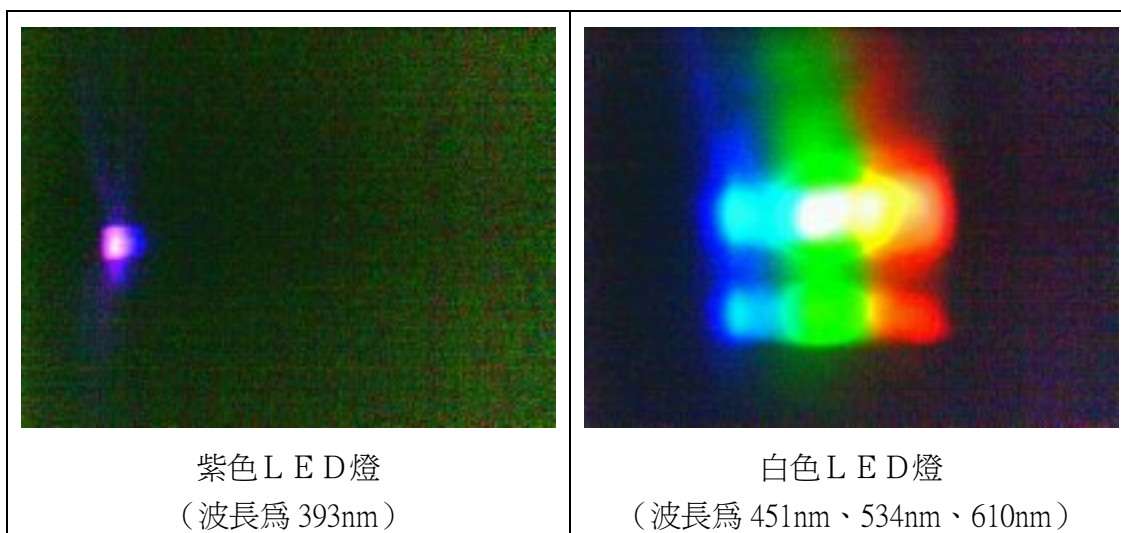
黃色 L E D 燈



綠色LED燈	藍色LED燈
	
白色LED燈	

2. 爲了使光線集中，我們調整第三代儀器中凸透鏡的位置讓LED燈的光線呈平行。以下是我們改良後所拍出的LED燈光譜，並由汞燈檢量線可計算出相應波長：

	
紅色LED燈 (波長爲 656nm)	黃色LED燈 (波長爲 569nm、594nm、599nm)
	
綠色LED燈 (波長爲 551nm、595nm、617nm)	藍色LED燈 (波長爲 447nm、524nm)



原先自製分光儀的設計即為平行光進入光柵才會得良好的繞射圖形。因 PL 檯燈燈管就是直的，所以進入分光儀內光柵時會呈現上下強度一致的光譜線，但 LED 燈源是一個點光源，再經過凸透鏡聚光後照出的影像會類似原來的點光源，但各種顏色已經分開，還是可估算其波長。我們發現：市售的白光 LED 燈其實是由三種顏色的光混和而成，在分光儀的檢視下，無所遁形。

討論：經過透鏡的聚光後，發現即使微弱的光線也能被網路攝影機照出來。因此我們決定進一步挑戰分析光源既不穩定也不是很亮的焰色試驗。

二、焰色

(一) 焰色實驗：

當金屬化合物於火焰中燃燒時，火焰的熱能使得氣化的原子內部電子吸收足夠能量，躍遷到激發態，當電子恢復到基態時，能量就會被釋放出來，並轉變為特定波長的光線。不同的原子往往會發出不同顏色(波長)的光譜。尤其我們曾經在 YOUTUBE 的網站上看到國外有人做出的焰色實驗色彩鮮明，效果很棒，但是學校上實驗課時卻沒看過這麼好的效果。所以我們決定以不同的火源（酒精燈、本生燈及酒精膏）和方法（包括利用噴霧器、使用白金絲或棉花沾取鹽類的固體或飽和溶液、將酒精與鹽類的飽和溶液混合等）嘗試，試圖找出能使焰色最明顯的條件，並用自製分光儀拍攝下來。

(二) 原子光譜：

原子的光譜特性主要決定於它的電子組態，即核外電子數和排布。在基態下，原子的電子只能運動於一系列特定的能階，能階的高低分布形成能級。原子發射和吸收光是通過其電子的能階躍遷，當電子從高能階躍遷到低能級時可發射一個光子。我們利用實驗二所做出的分光器，結合焰色實驗，拍攝不同金屬鹽類（KCl、 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 、 FeCl_3 ）等所產生的焰色光譜。

實驗二-1：焰色實驗條件最佳化

進行焰色實驗時，金屬原子是來自於鹽類水溶液，必需先氣化成氣態原子並獲得足夠能量後才得見到它們的光譜。本實驗針對白金絲擺放高度、鹽類水溶液原子氣化時間、焰色持續時間來找條件。

實驗步驟：

1. 以白金絲沾取定量 KCl 飽和溶液並燃燒，比較火焰在何處焰色最明顯，以討論原子氣化時所需的時間。
2. 以白金絲沾取定量 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 飽和溶液並燃燒，比較白金絲在火焰哪邊的高度效果最明顯。由實驗步驟 1 可了解使用本生燈的效果較酒精燈佳、持續時間較長，又因為酒精燈的火焰在通風櫥中易受影響而不穩定，所以只使用本生燈。
3. 方法同步驟二，鹽類改為使用 FeCl_3

實驗結果：

1. KCl

酒精燈：火焰高度 5 公分，燈蕊 1 公分			
白金絲位置	出現焰色的時間	持續時間	最明顯的時段
1 cm	0.7	10'9	1'9~7'7
	0.5	11'9	1'3~5'5
2 cm	0.7	13'6	1'8~6'3
	1.0	12'8	1'9~9'0
3 cm	0.6	10'5	2'1~8'0
	0'4	14'3	1'3~9'9
4 cm	1'7	9'8	4'6~6'9
	0'6	12'2	4'2~6'1
5 cm	2'0	5'3	3'1~3'8

本生燈：火焰高度 5 公分			
白金絲位置	出現焰色的時間	持續時間	最明顯的時段
0 cm	0'4	1'37"6	1'1~18'0
	0'4	2'01'0	2'0~12'0
1 cm	0'6	39'1	1'2~6'0
	0'4	33'6	1'5~7'5
2 cm	0'3	8'9	2'5~6'0
	0'5	13'7	1'5~7'1
3 cm	1'1	13'2	2'4~3'7
	0'8	11'4	3'7~5'8
4 cm	1'5	6'0	2'4~4'4

	0'6	8'4	2'5~3'8
5 cm	0'4	4'4	1'5~4'3
	0'4	5'1	2'2~5'0

2. $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$

本生燈：火焰高度 5 公分			
白金絲位置	出現焰色的時間	持續時間	最明顯的時段
0 cm	0'6	43'0	2'2~12'2
	0'4	44'3	2'1~17'8
1 cm	0'8	15'4	2'8~7'9
	1'2	20'2	3'3~10'7
2 cm	0'4	9'8	3'0~6'9
	0'4	10'3	1'8~6'9
3 cm	0'9	8'2	4'6~7'5
	1'1	8'1	3'1~6'7
4 cm	1'7	15'3	6'1~11'4
	1'3	12'0	4'7~11'0
5 cm	1'2	8'5	3'3~6'0
	1'4	11'2	3'9~7'0

3. FeCl_3

本生燈：火焰高度 5 公分			
白金絲位置	出現焰色的時間	持續時間	最明顯的時段
0 cm	1'3	16'6	3'3~9'2
	1'8	15'8	4'4~12'7
1 cm	0'8	12'6	3'9~7'5
	1'1	12'9	3'1~11'1
2 cm	0'5	9'7	2'1~6'1
	0'4	11'1	2'2~7'0
3 cm	0'4	5'3	2'8~5'0
	0'6	5'6	3'2~5'8
4 cm	0'7	7'2	3'4~5'7
	0'7	7'1	2'7~5'6
5 cm	1'5	12'5	3'4~6'2
	2'1	13'7	4'7~7'4

討論：綜合以上三種實驗，我們歸納出利用做焰色實驗時，鹽類離火焰的底部越近效果會越好。因此我們之後在燒各種鹽類時，皆會將白金絲放在較靠近底部的地方，使其火

焰較明顯以便觀察。其中本生燈觀察到的焰色持續時間最久，非常適合於分光儀光譜分析。

實驗五：利用不同的氣化方式及燃料比例觀察KCl、Sr(NO ₃) ₂ 、FeCl ₃ 焰色的影響
--

實驗步驟：

1. 做空白實驗以了解焰色實驗時分光儀上看到的是否實際是鹽類所產生的焰色抑或是因參雜其他因素（如白金絲放到火焰上時產生所產生的變化）造成。
2. 鹽類水溶液以不同的方式加入空白火焰中觀察KCl、Sr(NO₃)₂、FeCl₃的焰色。
3. 將酒精（濃度 99.5%的絕對酒精和 95%的藥用酒精兩種）與鹽類的飽和溶液以不同比例混合（酒精：鹽類的飽和溶液＝9：1、8：2、7：3、6：4 四種比例，因為比例為 6：4 的實驗效果已不明顯，而且酒精耗盡時仍有鹽類殘留，所以不再做其他比例的實驗。）

實驗結果：

1.空白實驗

器材 \ 燃料	酒精燈	本生燈	酒精膏
	酒精燈	本生燈	酒精膏
火焰	見圖 1-1	圖 1-2	圖 1-3
白金絲	圖 1-4	圖 1-5	圖 1-6
棉花	圖 1-7	圖 1-8	圖 1-9
其他：1-10 用棉花裹酒精膏			

圖 1-1

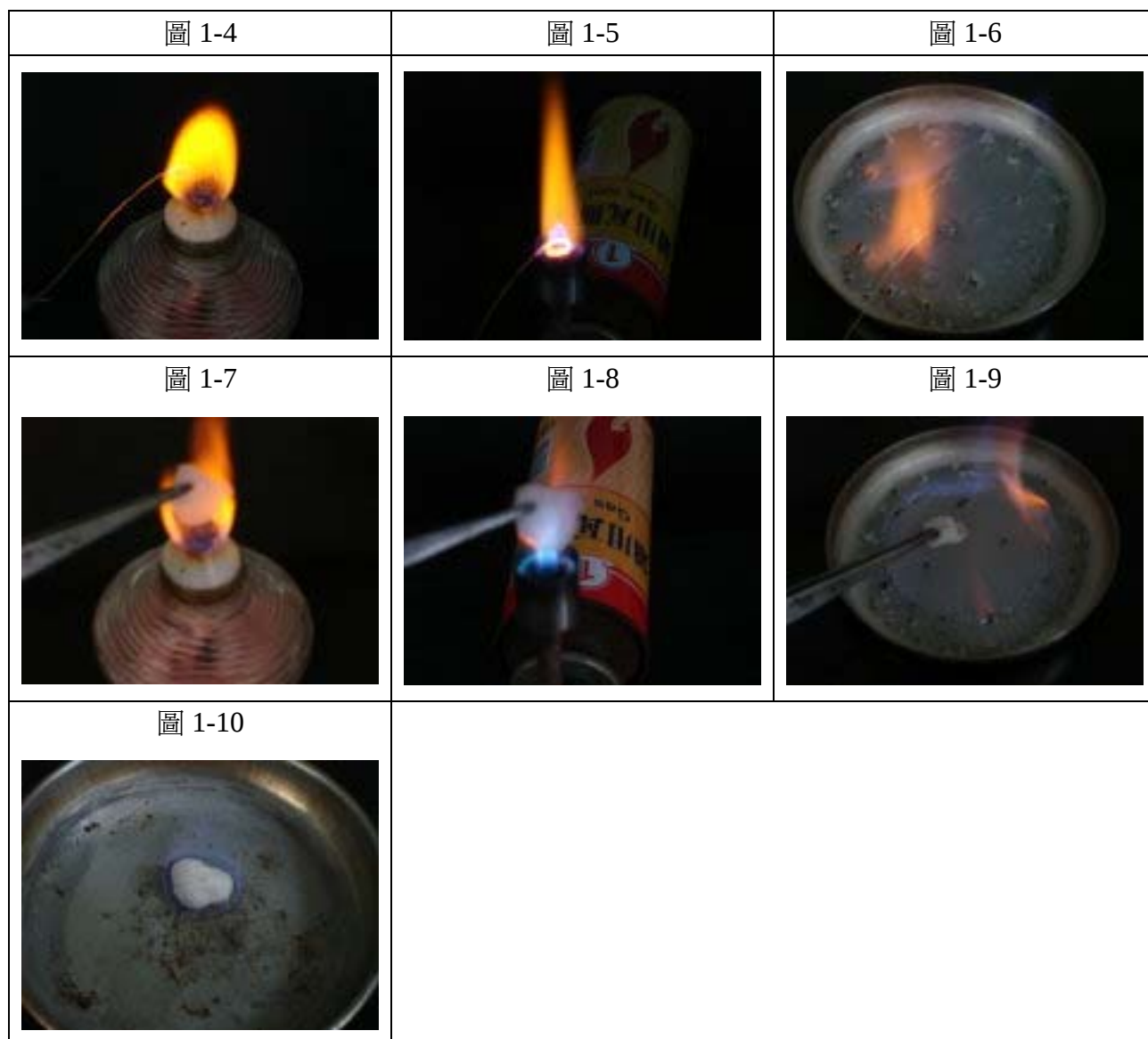


圖 1-2



圖 1-3





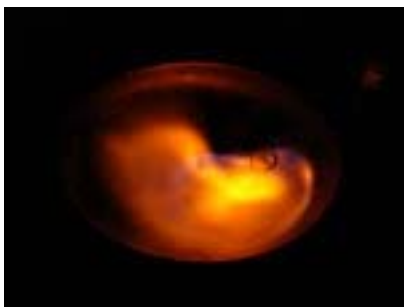
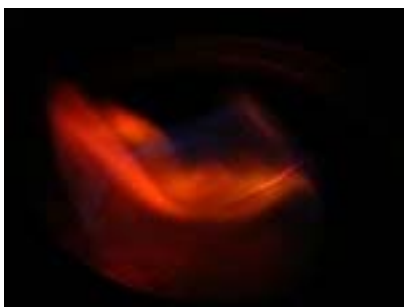
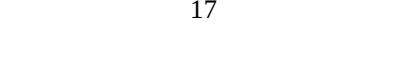
2. KCl 焰色觀察

燃料 器材（鹽類）	酒精燈	本生燈	酒精膏
噴霧器（飽和溶液）	2-1	2-2	2-3
白金絲（固體）	2-4	2-5	2-6
白金絲（飽和溶液）	2-7	2-8	2-9
棉花（飽和溶液）	2-10	2-11	2-12
其他：2-13 用棉花裹酒精膏再沾金屬鹽類直接燒			

圖 2-1 	圖 2-2 	圖 2-3 
圖 2-4 	圖 2-5 	圖 2-6 
圖 2-7 	圖 2-8 	圖 2-9 
圖 2-10 	圖 2-11 	圖 2-12 
圖 2-13 		

3. $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$

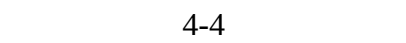
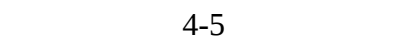
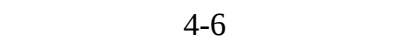
器材 (鹽類) \ 燃料	酒精燈	本生燈	酒精膏
噴霧器 (飽和溶液)	3-1	3-2	3-3
白金絲 (固體)	3-4	3-5	3-6
白金絲 (飽和溶液)	3-7	3-8	3-9
棉花 (飽和溶液)	3-10	3-11	3-12
其他：3-13 用棉花裹酒精膏再沾金屬鹽類直接燒			

3-1 	3-2 	3-3 
3-4 	3-5 	3-6 
3-7 	3-8 	3-9 
3-10 	3-11 	3-12 

無任何效果		
3-13 無任何效果		

4. FeCl_3

燃料 器材（鹽類）	酒精燈	本生燈	酒精膏
噴霧器（飽和溶液）	4-1	4-2	4-3
白金絲（固體）	4-4	4-5	4-6
白金絲（飽和溶液）	4-7	4-8	4-9
棉花（飽和溶液）	4-10	4-11	4-12
其他：4-13 用棉花裹酒精膏再沾金屬鹽類直接燒			

4-1 	4-2 	4-3 
4-4 	4-5 	4-6 

		
4-7	4-8	4-9
		
4-10	4-11	4-12
		無任何效果
4-13		
		

5. 絕對酒精與飽和溶液混合

鹽類	KCl	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	FeCl_3
比例			

9 : 1			
8 : 2			
7 : 3			
6 : 4			

6. 藥用酒精(95%)與飽和溶液混合

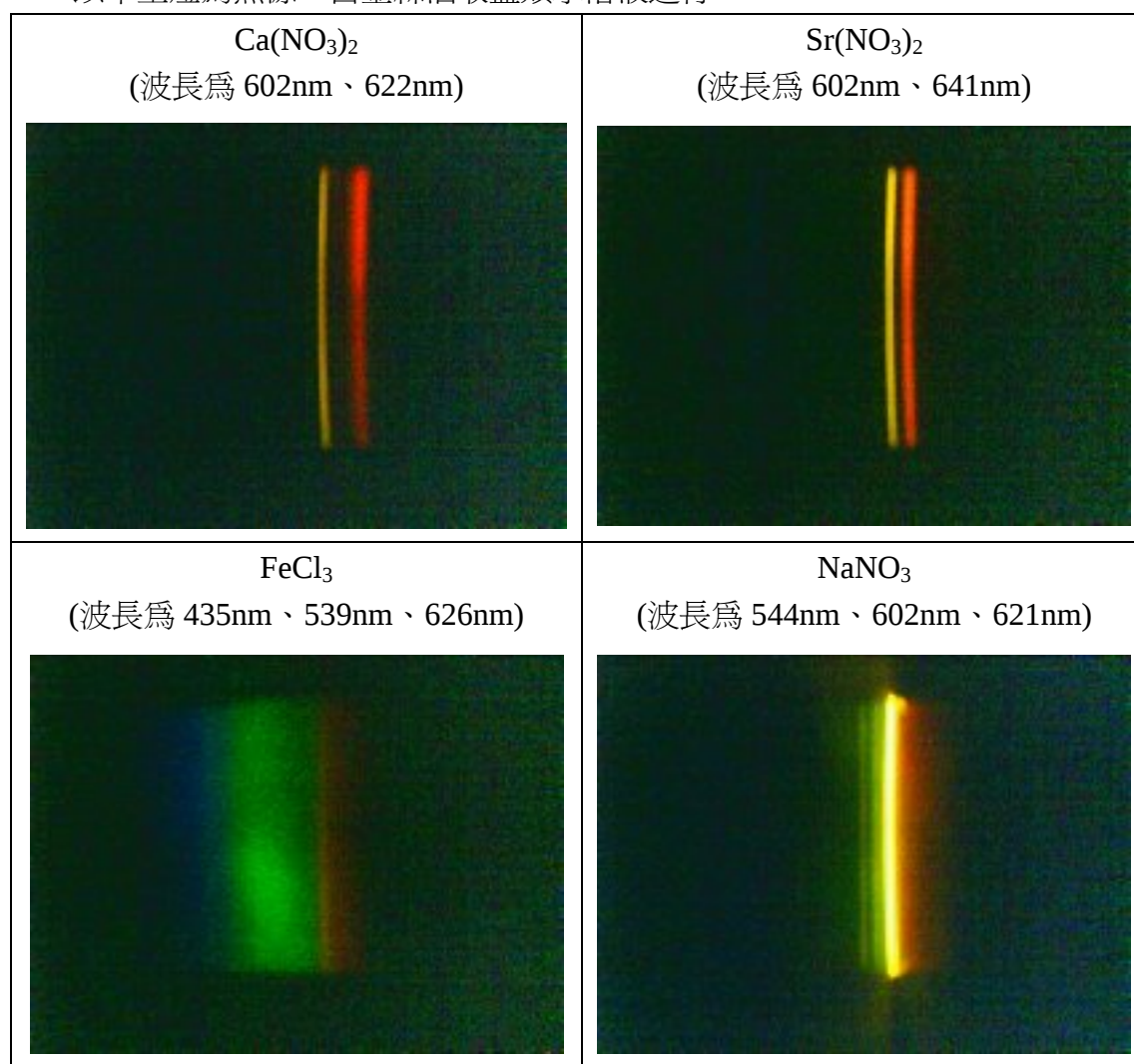
鹽類 比例	KCl	Sr(NO ₃) ₂	FeCl ₃
9 : 1			
8 : 2			
7 : 3			

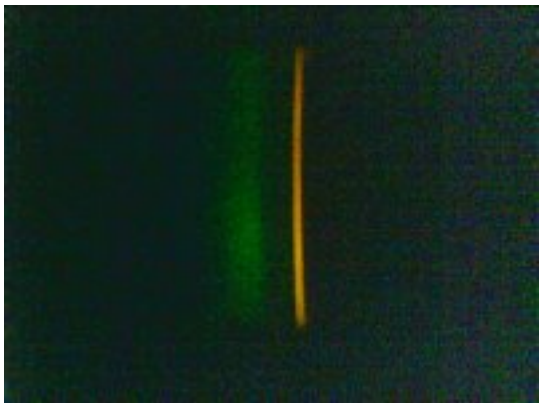


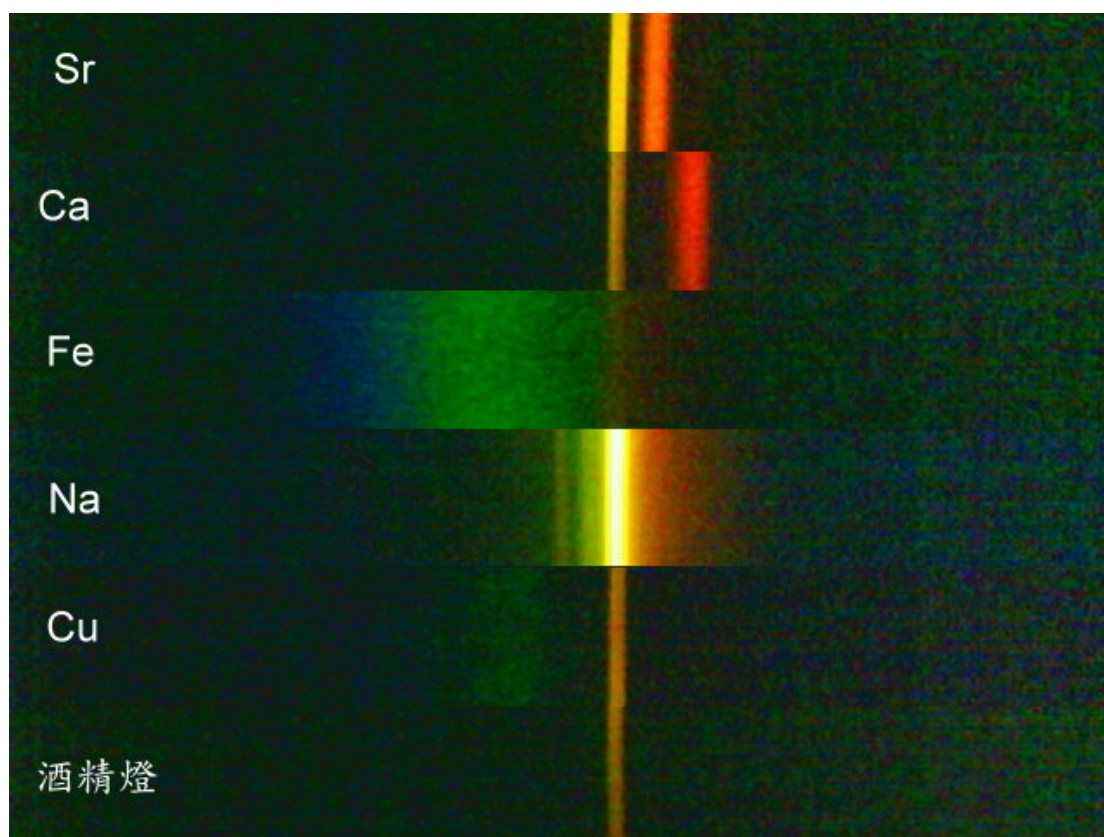
討論：以上述各種方法和觀察後，我們發現較大規模示範時，以噴霧方式將鹽類水溶液混合酒精後噴灑在火焰上的效果最好，燃燒氯化鐵的焰色效果最明顯。而且以 7 : 3 的比例調出的酒精溶可以立刻燒出焰色來，因此利用此比例來觀察燃燒鹽類的焰色光譜。實驗進行時，因通風櫥風量太大而使火焰容易飄散，不易照出清晰的相片。且顧慮安全，最後我們決定以本生燈做火源做光譜分析。

實驗二-3：利用自製分光器來檢視焰色實驗

以本生燈為熱源、白金絲沾取鹽類水溶液進行



CuSO_4 (波長為 550nm、602nm)	
	



討論：使用自製分光儀觀察焰色時，發現了一個很有趣的現象：在酒精燈空白實驗中，600nm 處有一條普遍存在的光譜線，換了多個不同的酒精燈都是如此，所以我們才會在此實驗中改以不含酒精的鹽類水溶液進行實驗。但此可疑譜線在本生燈以白金絲的空白實驗中又出現了。而在硝酸鈉焰色中，當肉眼所見鈉元素焰色出現時，分光儀上顯示 600nm 的黃光果真增強；只有在氯化鐵的焰色時才看不到這條譜線。

伍、研究結果

- 一、我們成功以透明 DVD 光碟片、飛機木、凸透鏡、網路攝影機自製一個令人滿意可記錄式分光光譜儀，不但可拍照，還可錄影。並可藉由汞燈光譜校正所得的線性關係，測定其他光源的線光譜波長。
- 二、我們找出了進行焰色實驗時效果最佳的條件：以本生燈可得最佳、最持久的焰色效果；以鐵鍋加熱另灑酒精與鹽類飽和水溶液的比例是 7:3 可得最佳的展示效果。利用自製分光儀觀察焰色可看出當不同離子加入時，火焰發出的明顯線光譜在波長上確實有很大的不同。

陸、討論

- 一、探討自製分光儀一~三代，各代之間發展的過程及優缺點：

第一代：簡單用空白 CD、DVD 光碟片對著頭頂上的日光燈燈源，總是會看到一圈圈彩色明暗相間的光環，這是日光燈中汞蒸氣的光譜。適當角度下，用肉眼、單眼數位相機都可清楚觀察。為了避免外界其他光源的干擾，我們就用了大紙箱、鐵架、透明光碟片、網路攝影機想要把這影像記錄下來。雖然原理簡單，但在實驗的過程卻充滿挫折！明明肉眼就看得到的，透過網路攝影機卻拍不到清晰影像。調整過了網路攝影機的鏡頭焦距、光源、光柵的距離、角度，照出來的影像總是和肉眼所見差了一截。

第二代：雖然縮減了體積，但是因為網路攝影機對不到焦，所以效果不好。

第三代：我們領悟問題所在，網路攝影機的鏡頭、對焦功能有限！這也是為什麼明明透過數位單眼相機、肉眼可輕鬆分辨的譜線，換成了網路攝影機卻讓我們吃走苦頭。操作網路攝影機時我們也發現，網路攝影機沒辦法控制光圈，遇到光線不足時，自動增加曝光時間的結果使影像模糊、分開的線光譜又整個糊在一起。後來改採光學臺的設計，讓光平行進入，配合透鏡並在第一繞射角處接受影像後，才有令人滿意的結果。

- 二、分光儀分出的線光譜進行波長線分析時，我們是採用線性關係進行。因為日光燈(汞燈)的線光譜分佈在可見光各種顏色中，因此我們每一次調整好分光儀後，就會利用分光儀所得的日光燈線光譜座標，與已知的汞燈線光譜比對，做出波長檢量線，可得相當良好的線性相關，因此我們可以利用照片中各線光譜的出現位置，求出波長。

- 三、LED 燈：原來我們肉眼所看的色光未必是光源真正的色光。

- 1.白光：含紅、黃、藍。
- 2.綠光：含綠、其、紅，但綠比例較多
- 3.藍光：含藍、綠，但藍光比例較多。
- 4.黃光：含綠、黃、但綠光比例較多。
- 5.紫光：含紫光。

- 四、焰色實驗中，要得良好焰色，火焰必須保持相當高溫度。由自製分光儀中可看出，火柴燃燒時溫度不高，在光譜上看到的是彩色連續光譜(紅黃綠)；而酒精燈上則會

在 600nm 觀察到唯一的線光譜，此 600nm 的譜線也出現在白金絲於本生燈上燒得火紅時的黃色火焰中，且與鈉元素線光譜波長相同。據我們推測，要不是燃料受到了鈉污染，不然可能是碳氫化合物燃燒不完全時所產生，但目前還沒足夠的證據，值得進一步研究。

五、要得到理想焰色，氣態原子的離子化、火焰溫度、停留時間都會影響焰色表現。金屬鹽類的陰離子種類、濃度、本生燈的燃燒速度、火焰的溫度都會有影響。實驗顯示鹽類水溶液的氯化需要比較高的溫度，所以本生燈的顯色才會比酒精燈快；使用噴霧方式又比使用白金絲沾取的快，應該是氯化吸熱造成。另外，酒精燈的焰色實驗不明顯，我們改變了幾個不同的濃度試驗皆是如此，推測可能是酒精燈燃燒時溫度不夠高，氣態原子激發效率不高，還來不及吸收能量就被隨廢氣排走的緣故。

柒、結論

- 一、我們成功自製效果滿意的分光儀，但中間歷程相當辛苦。報告上三言兩語交代完畢，卻可能是花了一、二個月嘗試的結果。當從螢幕上看到明顯區別的光譜線時，令大家感動不已。
- 二、透過分光儀，我們看到了跟平常肉眼所見不一樣的世界，人眼所見的光譜已經轉換成各種顏色，但無法具體描述其中的細微差異。透過了分光儀，機器所呈現的，是一個精確、量化的結果。以另外一個角度來察「焰」觀「色」，表裡大不同，光譜語言是簡潔、精準的。
- 三、本自製分光儀結合電腦，能將整個焰色實驗的光譜出現時間及影像圖形完整紀錄，並分析；不光是用眼看，瞬間就消失，這是本自製分光儀的一大優點。舉凡要透過昂貴分光儀的實驗，也可以透過此自製分光儀進行分析。

捌、參考資料及其他

李伯青。利用雷射光碟作光的繞射實驗。台灣 2004 年國際科展物理科。

吳詩芳、李佳杰、張哲睿、劉子裕。數位影像分析可見光光譜。45屆全國科展物理科。

John A. Dean. analytical Chemistry Handbook. 分析化學手冊。北京：科學出版社。

史光國。半導體發光二極體及固體照明。北京：科學出版社。

曾國輝。化學(上、下冊)。台北：藝軒

【評語】 040807

本作品以透明 DVD 光碟片作為光柵，用網路攝影機組件取入分光影像，製作一部可用電腦記錄分析的分光儀。以自製的分光儀對燃燒火焰進行焰色實驗，在不同焰心與燃料下觀察火焰影像與分光結果。一系列的實驗證實自製分光儀可作光譜分析，是具實用性的作品。