中華民國第53屆中小學科學展覽會作品說明書

國中組 物理科

佳作

030102

解『色』

--探究自製光譜儀之校正方法與應用於水溶液濃度分析--

學校名稱: 屏東縣立明正國民中學

作者: 指導老師:

國二 葉國掄 陳盈吉

鍾梅英

關鍵詞:光譜儀、水溶液濃度、吸收光譜

摘 要

經過使用 DVD 來自製光譜儀儀器不斷的設計改良,本實驗得到很好的分光效果,病應用自由軟體 Image-J 畫素分析得到光譜數據。另外,探究以日光燈、固定波長的紅光雷射、綠光雷射作為光譜數據分析校正(自訂校正公式),誤差率僅為標準光照的千分之 1.5~1.8 之間。最後,使用自製 DVD 光譜儀觀察不同濃度的硫酸銅,硫酸鋅及硫酸、氯化亞鈷的水溶液吸收光譜。結果發現硫酸銅在紅光的區域有吸收,但是硫酸鋅及硫酸並無明顯的吸收。最後驗證此自製便宜的光譜儀可以觀測到硫酸銅吸光度有隨濃度變化,雖然方法較為繁複,但可為節省經費的分光度計設計與應用。

壹、研究動機

研究者在國小時曾經以光譜儀為題目參加過科展,因此對光譜儀很有興趣,想繼續研究。八年級背元素表時,因為看到本生和克希荷夫會發現銫元素就是因為他們在礦泉水中看到不一樣的光譜,所以我認為可以將現有的光譜儀改良為能夠清楚分析物質和量的工具。

貳、研究目的

- 一、找出挑選適合製作光譜儀的 DVD 片之方法
- 二、改良出更適合拍攝的光譜儀
- 三、比較不同光源產生的光譜的差異
- 四、比較不同物質所吸收的光譜有何差異
- 五、比較光穿過不同濃度的物質後被吸收的量與濃度的關係

参、研究材料及器材

DVD 片、剪刀、美工刀、尺、光譜儀紙模型、切割墊、口紅膠、膠帶、鉛筆、標籤紙、 黑色西卡紙、紙箱、相機、滴管、試管、燒杯、酒精、燈架、日光燈燈泡、大白光 LED 燈 泡、白光 LED 燈泡、紅光 LED 燈泡、綠光 LED 燈泡、藍光 LED 燈泡、雷射筆。

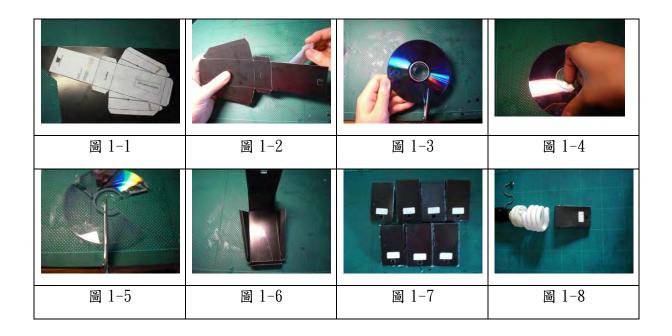
肆、研究過程、結果與討論

研究問題一:如何挑選最適合製作光譜儀的 DVD 片?

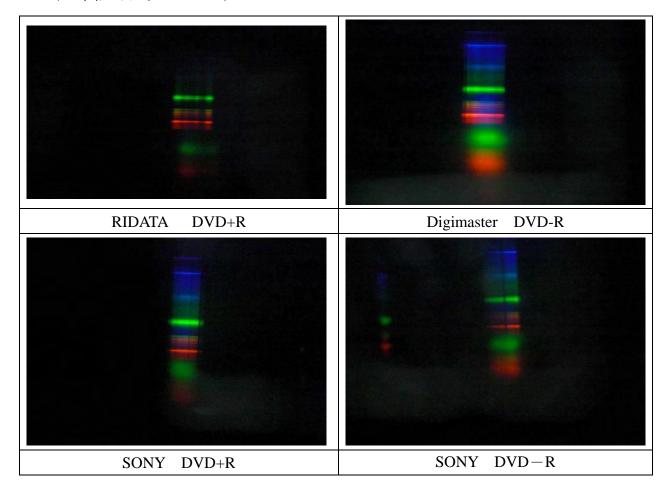
(一)研究過程:

我原本以為 DVD 片對光譜儀的影響不大,所以沒有特別注意,於是做了兩隻使用不同 DVD 片的光譜儀,發現其中一隻光譜儀所呈現的光譜幾乎看不見,影響實驗進行,所以想研究效果較好的 DVD 片有什麼特性。

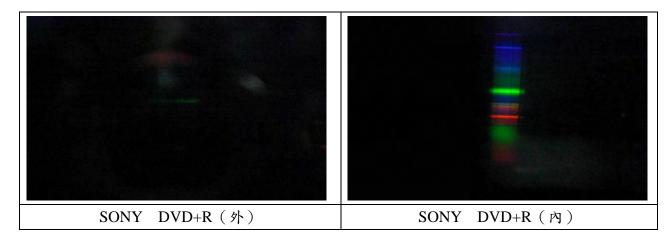
- 1. 將光譜儀的模型紙剪下,並用口紅膠黏在黑色西卡紙上。(圖 1-1)
- 2. 再將光譜儀沿著模型紙剪下,並在摺痕處用美工刀輕輕割出一條線,然後撕下模型紙。 (圖 1-2)
- 3. 用剪刀在 DVD 片上剪下一塊扇形。(圖 1-3)
- 4. 將 DVD 片剝開,取出最下層的 DVD 片。(圖 1-4)
- 5. 用沾過酒精的衛生紙擦拭最下層的 DVD 片,並從擦拭後的 DVD 片剪下一塊扇形作為光柵。 (圖 1-5)
- 6. 組合光譜儀。(圖 1-6)
- 7. 重複以上步驟,做出多個光譜儀。(圖 1-7)
- 8. 以製作出來的光譜儀觀察日光燈。(圖 1-8)



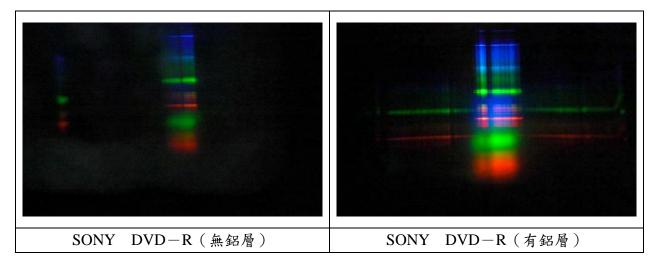
1. 不同種類的 DVD 片:



2. DVD 片的正反面:



3. 有無鋁層的 DVD 片:



(三) 結果討論

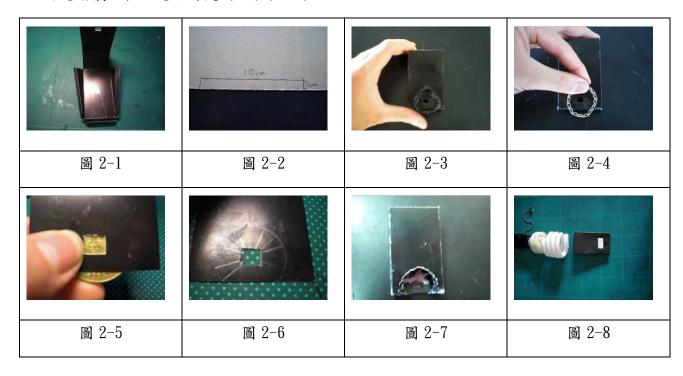
- 1. 以最下層 DVD 片的內側作為光柵的光譜儀能產生較好的光譜(分辨 DVD 的內外側要看表面有無凸起, 凸起的是外側)。
- 2. 用最下層 DVD 片的外側所製作的光譜儀幾乎不能產生光譜,但在切割前卻可以,可能是在固定時塗抹白膠的動作會破壞內側的光栅,如果固定時只在 DVD 片的邊緣塗上白膠就能看見光譜。因為步驟複雜又較難製做,所以不建議使用。
- 3. 鋁層會反射過量的光線,製作觀測吸收光譜的光譜儀時建議去除,但可用在放射光譜的 觀測上以增強光譜亮度。
- 4. 實驗後我發現有 SONY 的 DVD 片很難將鋁層去除,但如果成功去除鋁層後,SONY 的 DVD+R 能拍出最好的日光燈光譜。
- 5. 製做成光譜儀後效果較佳的 DVD 片,照射光線後能反射較多的光線,產生的光譜也較清晰。

研究問題二:如何使光譜儀更容易拍攝?

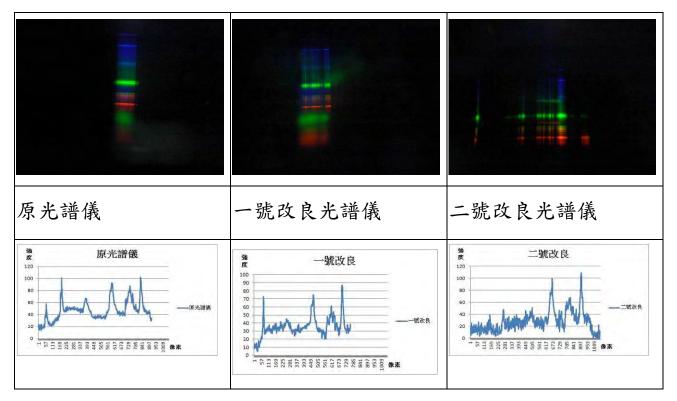
(一)研究過程:

在上一個實驗中我發現拍攝光譜時手會發抖,影響拍攝品質,所以想在這個實驗中改 良出更方便拍攝的光譜儀。

- 1. 製作一個光譜儀。(圖 2-1)
- 2. 從紙箱上剪下一塊長 10 公分、寬 1 公分的紙片,並將紙片的雨端黏起來。(圖 2-2)
- 3. 剪出一個光譜儀, 然後將紙環的圓心對準窺孔的中心並黏上, 乾掉後將圓環圖黑。(圖 2-3)
- 4. 將光譜儀組合起來,作為第二個光譜儀。(圖 2-4)
- 5. 剪出一個光譜儀, 然後將五十元硬幣的圓心對準窺孔的中心並用鉛筆沿著硬幣畫出一個圓。(圖 2-5)
- 6. 從窺孔畫出延伸到圓圈上的線,然後沿著線剪開並將扇型往外折。(圖 2-6)
- 7. 組合光譜儀,作為第三個光譜儀。(圖 2-7)
- 8. 將光譜儀放在日光燈前觀測。(圖 2-8)



不同光譜儀的拍攝結果



(三) 結果討論

- 1. 實驗後發現一號改良光譜儀的效果較好也較容易拍攝,很適合觀測。
- 2. 二號改良光譜儀拍攝較不容易,且光譜品質較差。
- 3. 本實驗後來採用一號改良的光譜儀作為研究工具。

研究問題三:不同光源產生的光譜有何不同?

(一)研究過程:

不同的光源會發出不同的光 線,那如果以光譜儀觀察它們的光 譜,是否就能看出它們的差異?

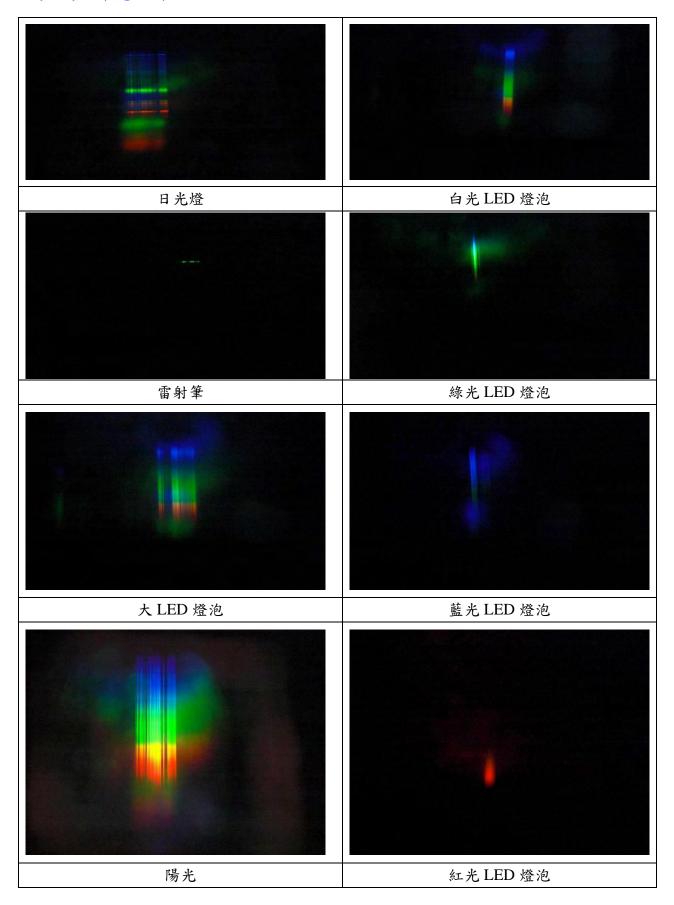
- 1. 準備各種光源。(圖 3-1)
- 2. 以光譜儀觀測各種不同的光源。 (圖 3-2)

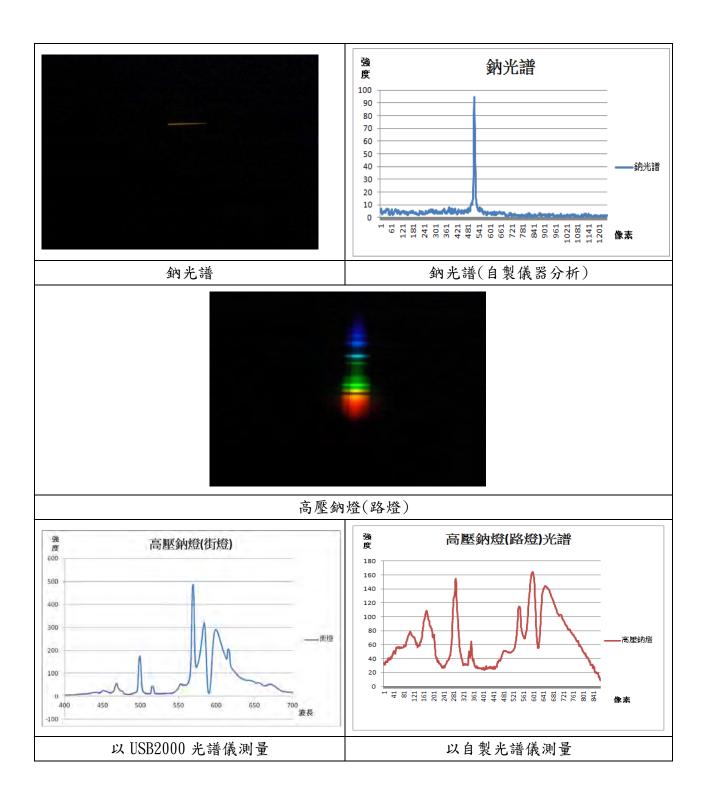




圖 3-1

圖 3-2





(三) 結果討論:

- 1. 日光燈的光譜中出現的線條大部分是汞的光譜。
- 2. 看起來是白色的日光燈、陽光、白光 LED 燈雖然都是由各種顏色的光所組成的,但出現 的光譜還是不同。
- 3. 藍光 LED 燈的光譜是由藍色和綠色的光組成的。
- 4. 綠光 LED 燈的光譜其實是藍、綠、紅三種色組成的。

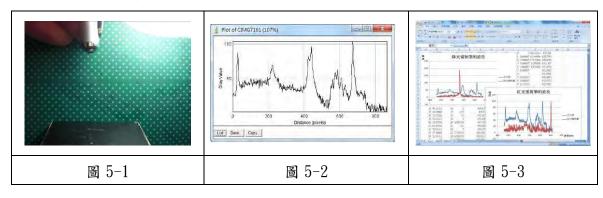
- 5. 雷射筆能產生單一波長的光譜。
- 6. 用鹽巴燒出來的光譜其實就是鈉光譜。
- 7. 高壓鈉燈的光譜中,在波長約 590nm 的地方出現的是鈉的吸收光譜(也是鈉的放射光譜)

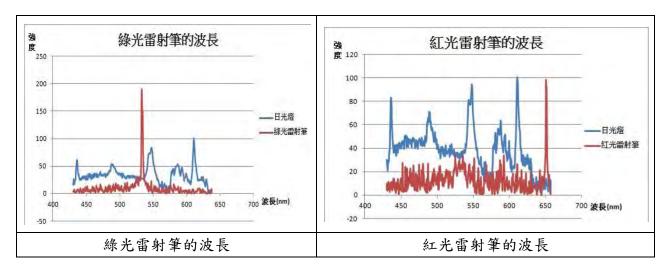
研究問題四:如何將光譜轉換成波長?

(一)研究過程:

在上一個實驗中我發現日光燈和雷射筆會產生特定的光譜。國中二年級上學期有學過以水的沸點和凝結點用一元二次方程式換算華氏溫標和攝氏溫標的方法,如果以日光燈的光譜做為刻度,經過計算後就能得到將其他的光譜轉換成波長的式子。所以我要在這個實驗中以日光燈光譜的波長計算雷射筆光譜的波長,測試是否能藉由日光燈將其他的光譜轉換成波長。

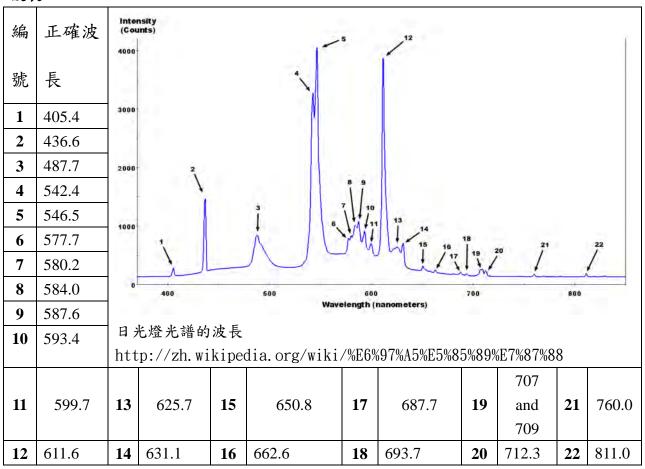
- 1. 以日光燈照射光譜儀右側,再用雷射筆照射光譜儀的左側(圖 5-1)
- 2. 1. 將 ImageJ 自由軟體打開,並打開要處理的圖片。(圖 4-4)
- 3. 將圖片調整到與視線平行,並以滑鼠選取一段長條的日光燈光譜。(圖 4-5)
- 4. 同時按下 Alt 和 K 就能得到光譜的強度折線圖。(圖 4-6)
- 5. 將圖片上長條的格子水平移動至雷射筆的光譜,並重複步驟三和四。(圖 4-7)
- 6. 將數據複製到 Excel 軟體中。 (圖 5-3)
- 7. 將已知的波長中最明顯的兩條: 547nm 和 612nm 與它們在像素中分別代入二元一次方程式 y=ax+b 中的 y 和 x。
- 8. 解方程式,算出a和b。
- 9. 利用此式讓 Excel 軟體算出全部的波長
- 10. 將日光燈和雷射筆的光譜強度圖中的橫軸(像素)換成這些波長(nm)





(三) 結果討論

1. 實驗後發現我用日光燈確實能定出雷射筆的波長,綠光雷射筆的波長大約是 533nm,和專業光譜儀的 532 nm 非常接近(誤差率百分之 0.18);紅光雷射筆的波長是 651nm,也和文獻資料的 650nm 非常接近(誤差率百分之 0.15),證明可以藉由日光燈換算出其他物質的波長。



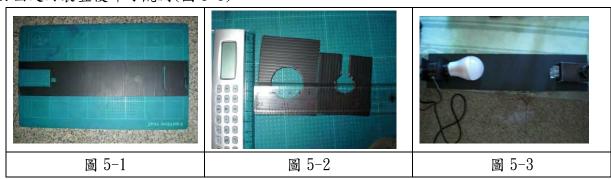
研究問題五:不同濃度溶液的吸收光譜

(一)研究過程:

既然光譜儀能分辨不同的光源以及物質,那應該也能分辨不同濃度的物質,所以在這個實驗中我要用光譜儀觀測不同濃度的物質,看看產生的光譜有何不同。

觀測台製作步驟:

- 1. 剪一塊長 44. 5 公分、寬 10 公分的塑膠板,在一邊的中央割下一塊長 9. 3 公分、寬 5 公分的大格子(固定光譜儀用)。(圖 5-1)
- 2. 然後將兩個長方形試管立在大格子的一側(需遮住狹縫的一部分),以原子筆在四個角各書一個點,沿四點連線割出一個小方格。(圖 5-1)
- 3. 在另一端離狹縫 19 公分處擺上光源並取兩個適當長度處割出兩個長 6 公分、寬 0.2 公分的長條。(圖 5-1)
- 4. 各割出一塊長 8 公分、寬 6 公分和長 6 公分、寬 6 公分的塑膠板,並割出兩個符合燈泡座大小的圓(接電線的一端要割出一條縫,方便取出燈泡)(圖 5-2)
- 5. 固定好裝置後即可觀測(圖 5-3)



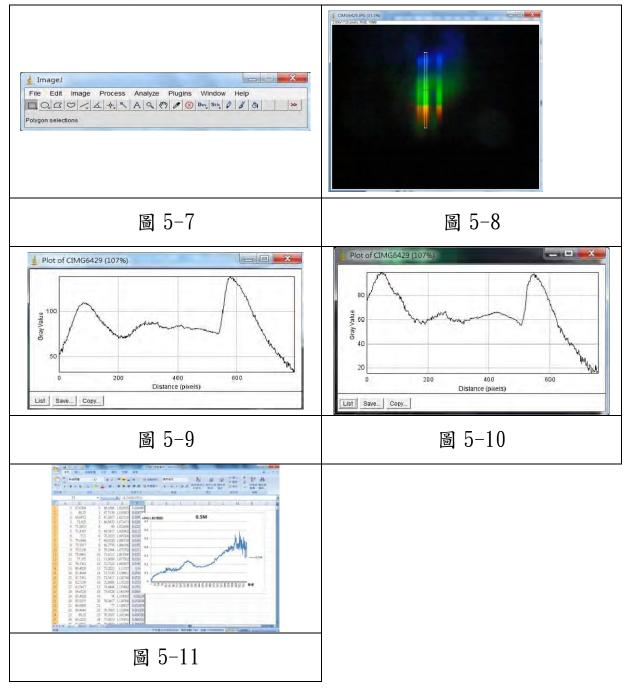
實驗步驟:

- 1. 調配 0.5M 的硫酸銅溶液。(圖 4-1)
- 2. 將硫酸銅溶液分別稀釋成 0.5M、0.25M、0.125M、0.1M、0M、0.2M、0.3M、0.4M。(圖 4-2)
- 3. 以光譜儀觀測不同濃度的硫酸銅溶液。(圖 4-3)



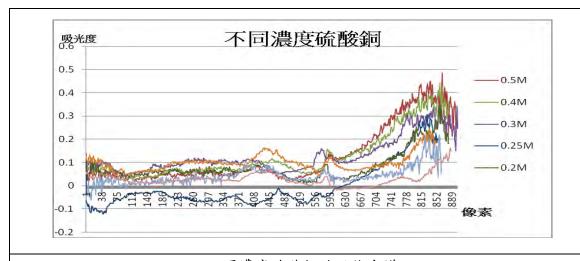
數據分析:

- 1. 將 ImageJ 自由軟體打開,並打開要處理的圖片。(圖 4-4)
- 2. 將圖片調整到與視線平行,並以滑鼠選取一段長條的 LED 光譜。(圖 4-5)
- 3. 同時按下 Ctrl、Alt、K 就能得到光譜的強度折線圖。(圖 4-6)
- 4. 將圖片上長條的格子水平移動至觀測物的光譜,並重複步驟三。(圖 4-7)
- 5. 將兩組數據複製到 Excel 軟體中分析物質的吸光度。(圖 4-8)

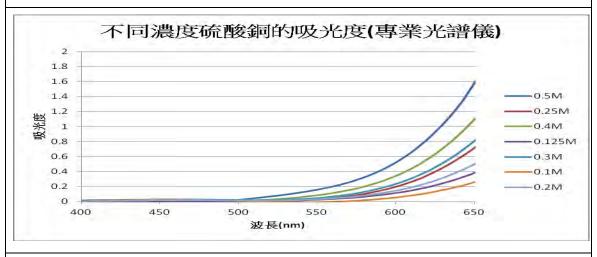


一、將溶液的光譜套入 ImageJ 自由軟體中轉成圖表,再用 Excel 軟體分析溶液的吸光度。

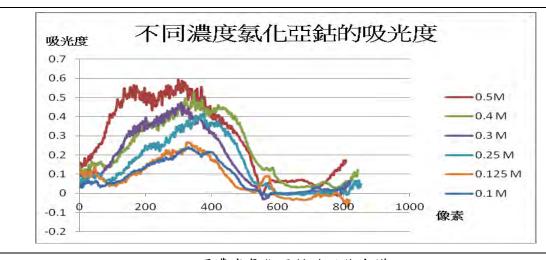
1. 各種濃度合併



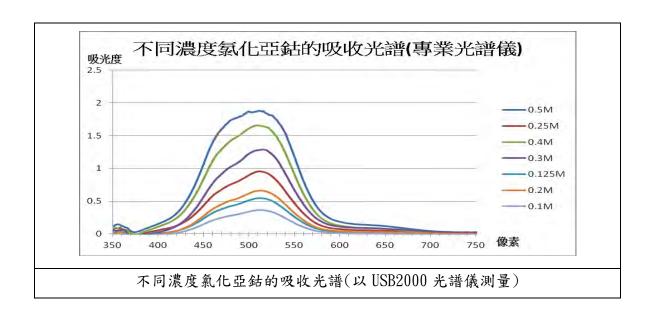
不同濃度硫酸銅的吸收光譜



不同濃度硫酸銅的吸收光譜(以 USB2000 光譜儀測量)



不同濃度氯化亞鈷的吸收光譜

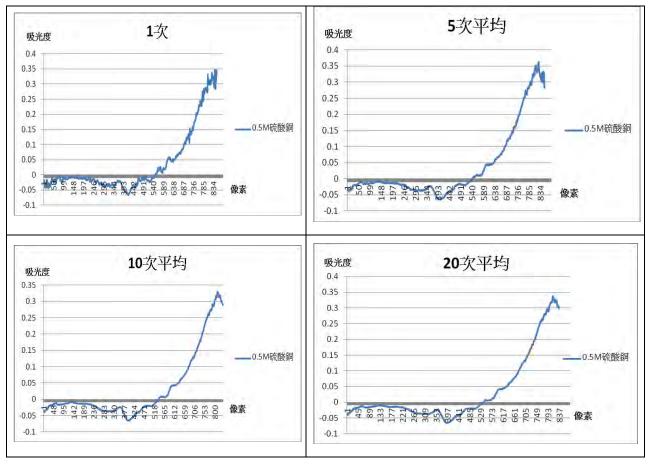


- (1)這些光譜吸光度的訊號和專業光譜儀的訊號比起來跳動太大,較難進行定量的比較。
- (2)因為在將圖片轉換成數據時需要用手動拉取的方式,所以每一組數據涵蓋的像素範圍都不一樣,較難進行比對。

二、解決辦法

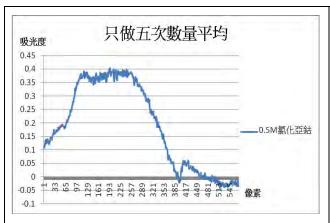
(一)移動平均法

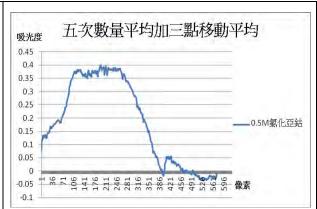
1. 如果將同一種濃度的溶液進行多次的觀測,再將結果進行平均,就能降低訊號跳動幅度。

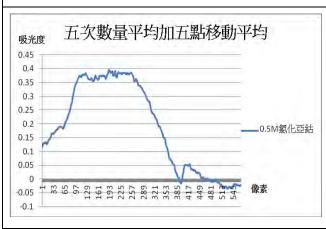


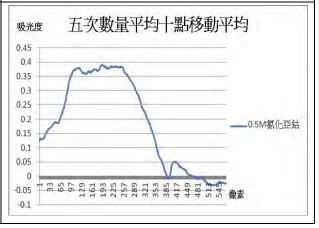
	1 次	5 次平均	10 次平均	20 次平均
標準偏差(1~200 像素間的平滑 度)	0.00996	0.007337	0.006866	0.006593

2. 再利用移動平均的方式可使數據的圖形更平滑



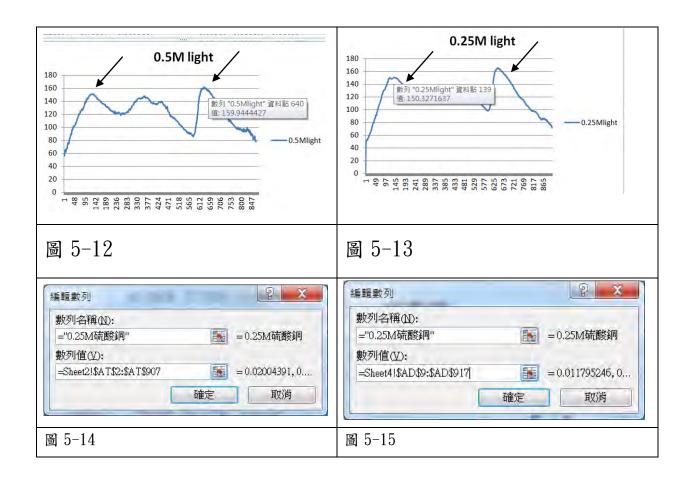




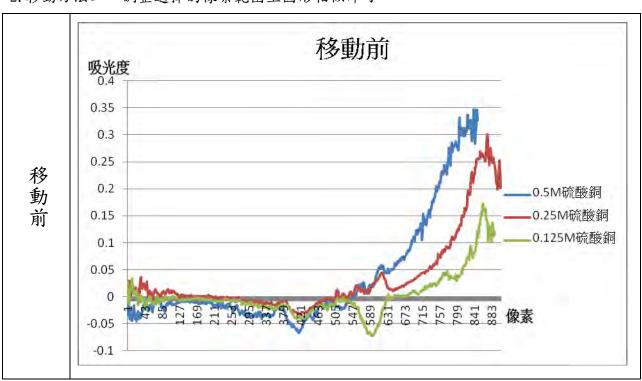


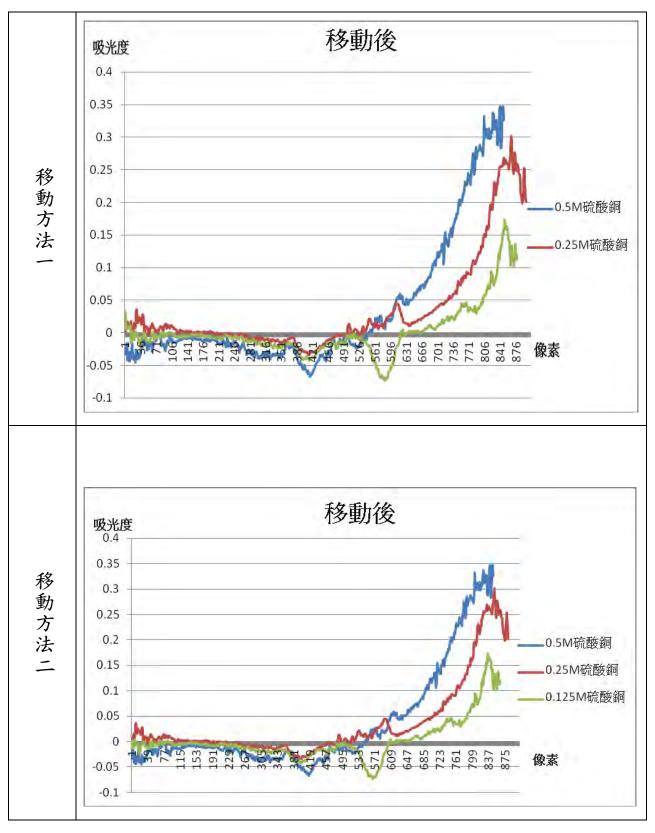
(二)特定光譜兩點校正——利用的計算吸光度時所用透射光譜中特定的兩點進行校正, 就能稍微將不同濃度溶液的吸光度圖對齊。

- 1. 移動方法一:
- (1)找到計算吸光度時所用透射光譜中強度最高的兩點(圖 5-12)
- (2)重複步驟一,找到其他濃度透射光譜中強度最高的兩點(圖 5-13)
- (3)以所有濃度中,第一個最高點像素值最小的為基準,將第一個最高點之間的差距加入數列值之中(圖 5-14)(圖 5-15)



2. 移動方法二:調整選擇的像素範圍至圖形相似即可





(三) 結果討論

- 1. 原始的吸光度圖譜如果沒有經過處理,訊號跳動範圍較大,須經過多次量測平均和移動 平均才能得到較平滑的圖譜。
- 2. 因為原始的吸光度圖譜是由手動選取範圍,所以會有誤差,要藉由透射光或圖形相似的部分進行校正。

伍、結論及建議

- 一、以最下層 DVD 片的內側作為光栅的光譜儀能產生較好的光譜(分辨 DVD 的內外側要看 表面有無凸起,凸起的是外側)。
- 二、用最下層 DVD 片的外側所製作的光譜儀幾乎不能產生光譜,但在切割前卻可以,可能 是在固定時塗抹白膠的動作會破壞內側的光柵,如果固定時只在 DVD 片的邊緣塗上白 膠就能看見光譜。因為步驟複雜又較難製做,所以不建議使用。
- 三、DVD片的鋁層會反射過量的光線,一定要去除。
- 四、實驗後我發現有 SONY 的 DVD 片很難將鋁層去除,但如果成功去除鋁層後,SONY 的 DVD+R 能拍出最好的日光燈光譜。
- 五、製做成光譜儀後效果較佳的 DVD 片,照射光線後能反射較多的光線,產生的光譜也較清晰。
- 六、測試後發現加裝紙片以固定相機的光譜儀既不影響拍攝效果又能使拍攝過程更容易,可做為後續實驗用的光譜儀。
- 七、日光燈的光譜中出現的線條大部分是汞的光譜。
- 八、看起來是白色的日光燈、陽光、白光 LED 燈雖然都是由各種顏色的光所組成的,但出現的光譜還是不同。藍光 LED 燈的光譜是由藍色和綠色的光組成的,而綠光 LED 燈的光譜其實是藍、綠、紅三種色組成的,只有紅光 LED 燈是只包含紅色。

九、雷射筆能產生單一波長的光譜。

- 十、本實驗的校正方法,分析後發現我用日光燈確實能定出雷射筆的波長,線光雷射筆的波長大約是 533nm,和文獻資料的 532 nm 非常接近(誤差率為千分之 1.8);紅光雷射筆的波長是 651nm,也和文獻資料的 650nm 非常接近(誤差率為千分之 1.5),證明可以藉由日光燈換算出其他物質的波長。
- 十一、經過第五個實驗後,我發現**要測量出精準的吸光度圖譜很困難**。真正的光譜儀精準的吸光度圖譜,其實是經過一些數學運算才能得到的。如果要真正製作出實用的光譜儀,除了需要硬體上的改良,還需要設計更方便的軟體來配合。
- 十二、本研究提出使用 Image_J 軟體搭配自行設計的光譜儀與分析方程式,可以得到初略 的波長;若是要得到更精細的數據則有兩種特別的校正方法,皆可模擬出與專業光譜 儀相近的波形與波段。此兩種特別的校正方法稱為
 - (一) 多次觀察與移動平均法:其中以五次數量平均加五點移動平均最為經濟省事。
 - (二) <u>特定光譜兩點校正</u>——利用的計算吸光度時所用透射光譜中特定的兩點進行校正, 就能稍微將不同濃度溶液的吸光度圖對齊。
- 十三、本研究所<u>研發出的簡易光譜儀可用來分析有色溶液的濃度</u>(硫酸銅、氯化亞鈷水溶液),但是**對於較為澄清的水溶液其效果不佳**(硫酸、硫酸鋅)。

陸、參考資料

一、光譜儀模型來源網址:

http://www42.tok2.com/home/ashi58/ashi/science/dvdspm/dvdspm.htm

二、本生介紹網址:

http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Bunsen

三、屏東縣第51屆科展作品:大家來觀"光"- 光譜儀中的繽紛世界/

四、吸光度資料網址:http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%90%B8%E5%85%89%E5%BA%A6

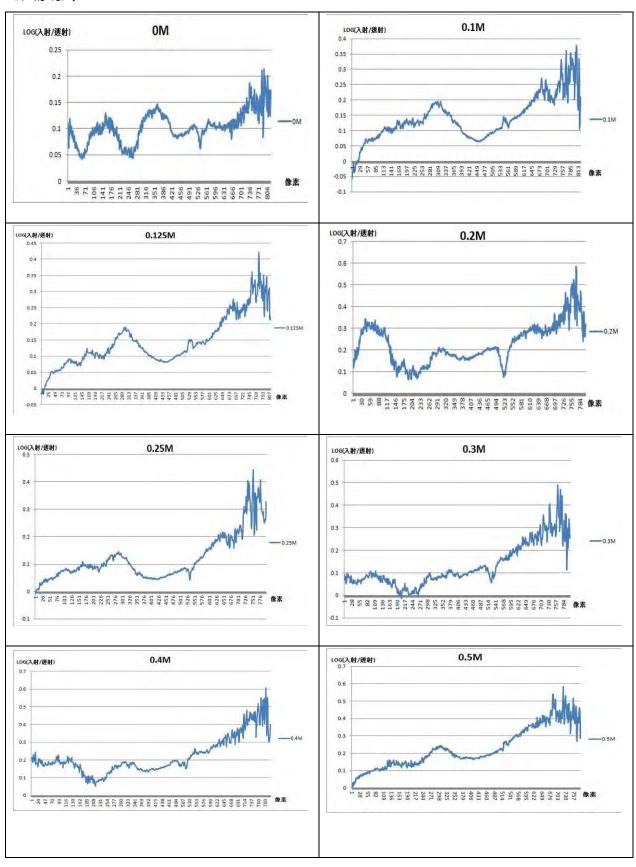
五、imagej自由軟體。下載網址:http://rsb.info.nih.gov/ij/

六、日光燈光譜的波長網址:

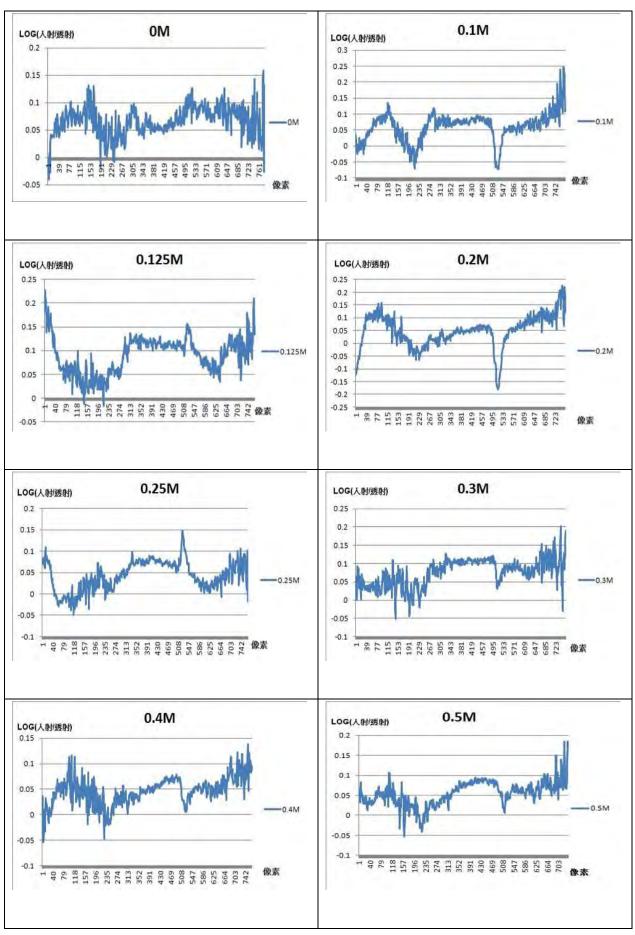
http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%97%A5%E5%85%89%E7%87%88

柒、附件

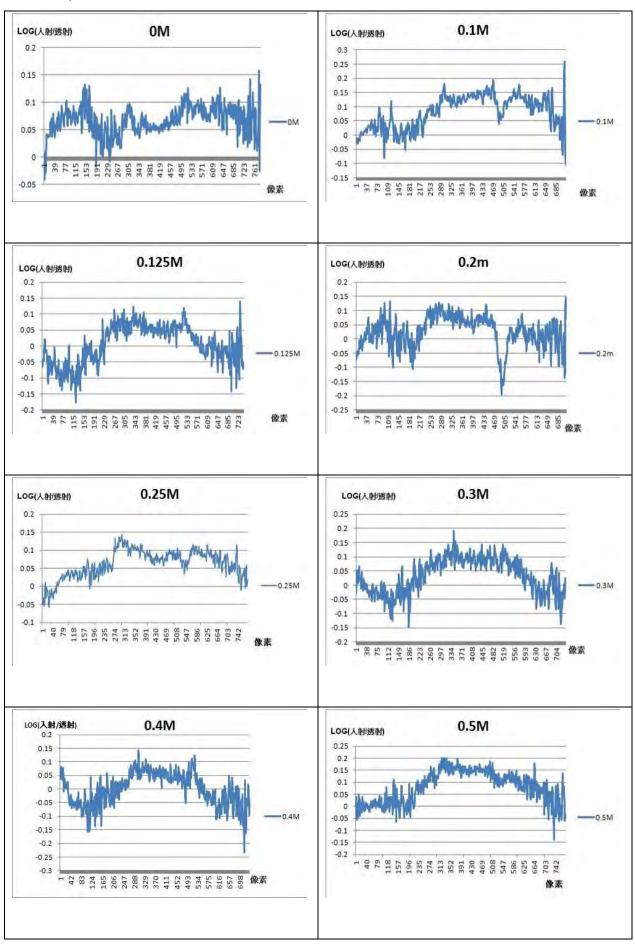
1. 硫酸銅



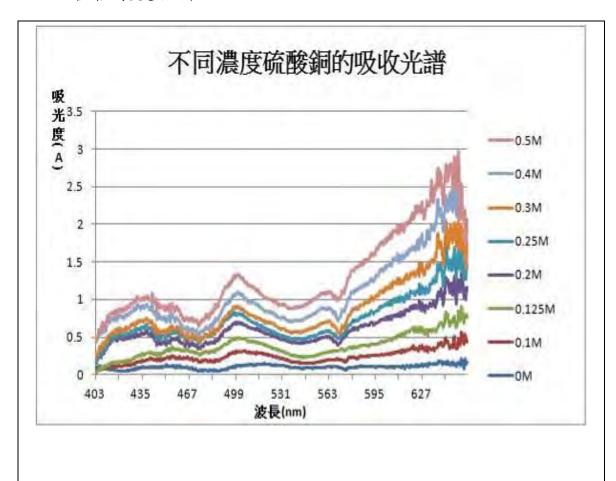
2. 硫酸

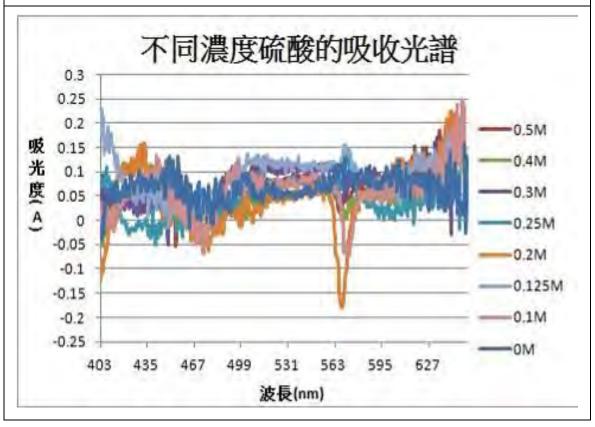


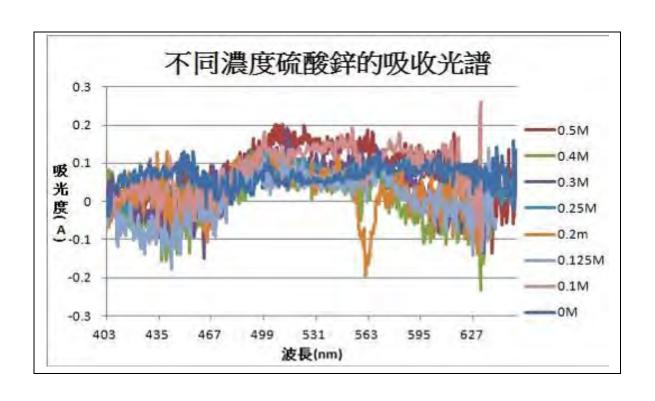
3. 硫酸鋅



二、各種濃度合併







【評語】030102

- 1. 設計實驗頗佳。
- 資料收集可以對像素較高者進行取捨,以便能對專業光譜儀結果做一對比。