

就是那個光—小氮氮現形記

高中組地球科學科第二名

台北市立第一女子高級中學

作者：王翊馨

指導教師：吳育雅

一、研究動機

常在雜誌上看到有關恆星光譜的文章，對於他們利用光譜儀將遙不可及的星辰化為一道色彩繽紛的光譜，我們感到無比的好奇與極大的興趣。而我們想要知道的是：能不能用光譜的技術，觀察生活周遭的大氣。於是我們便試著藉由自製的光譜儀，了解空氣中的污染氣體之一——二氧化氮的濃度與光譜的關係，以及光譜儀在日常生活中的應用。

二、研究目的

利用自製的光譜儀，觀察空氣中污染氣體之一——二氧化氮的光譜，及其隨濃度變化的情形，並應用光譜儀進行不同燈管的觀測。

三、研究設備

（一）光譜儀的製作

圓形直筒 一個（長27.3cm，半徑2.8cm） 圓形直筒 一個（長34cm半徑2.6cm） 厚紙板 兩張 錫箔紙 一張 黑色墨汁 一瓶 繞射光柵 一片（1200線／毫米） 小刀 一把。

（二）NO₂(g) 光譜的觀察

分液漏斗 一隻 漏斗 一個 錐形瓶 一個（體積286.5ml） 錐形瓶 一個（體積624.4ml） 量筒（10ml）一個 塑膠手套 一副 電子天秤 一個 白熾光源 一個 單眼相機 一台 彩色底片 數捲 濃硝酸（16M） 一瓶 銅屑（粉） 一瓶 玻璃清潔劑 一瓶 丙酮 一瓶。

（三）光譜儀的應用

日光燈管 一隻 太陽燈管 一隻 綠螢光燈管 一隻 黃螢光燈管 一隻

紅螢光燈管 一隻 藍螢光燈管 一隻 黑螢光燈管 一隻 霓虹燈管 一隻
(氬氣)。

四、研究過程

(一) 光譜儀的製作

我們應用現代光譜儀的原理，製作了一個較簡化的光譜儀。由於筒子內部是將透過狹縫的光，投射至光柵上，所以製作時除了原理方面外，特別注重的是消除光在筒壁反射的部分。一方面利用厚紙板的粗糙面為筒子內面，另一方面加裝一「抗反射裝置」，避免光在筒內反射後，造成光譜重疊、模糊的現象。

1. 將半徑較大的圓筒套在內筒外，確定內外筒是否合稱，外筒移動時是否順暢。

2. 用厚紙板剪一合於外筒截面積的圓，並於圓板中央割一長1cm、寬0.1cm的狹縫。將較粗糙的一面塗黑，以此面為內面。

3. 剪下兩片錫箔紙，將其各自對折（注意對折後長度要大於狹縫），以其對折的一邊【註1】，緊靠狹縫的兩側貼在內面上，將厚紙板貼上外筒的一端。

4. 將內筒的內側塗黑，割下寬約2cm的光柵一條。將光柵對準光線，測量最佳觀測角度【註2】，並於內筒做上記號，按角度將其一端斜斜割去，修飾切口使其平滑。

5. 裁一合於切口面積的圓厚紙板，於其中央割一長2.5cm、寬1.5cm的洞。將光柵從較粗糙的一面貼上，並把粗糙面塗黑，以此面為內面，將圓片貼上切口。

6. 剪四片合於內筒截面積的圓，並各割一個直徑為狹縫長的同心圓，在圓片上下左右再割一道小缺口。剪四條約為內筒長的紙條，將四片圓板各以等距離插入。此裝置全部塗黑，插入內筒中，即為「抗反射裝置」。

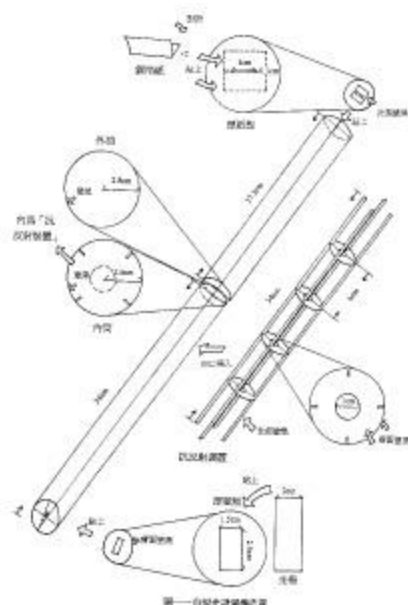
7. 將內外筒的開口端相接，實際操作看看是否合宜（見圖一）。

【註1】凡是剪裁過後的缺口，多少會留下鋸齒狀的纖維毛邊，而影響光譜的清晰度，為了避免此現象，我們利用對折線必為直線的道理，用不透光的錫箔紙來修飾狹縫的兩側。

【註2】利用全像攝影術製作的光柵，應先測量成像角度。

(二) $\text{NO}_2(\text{g})$ 光譜的觀察

反應方程式： $\text{Cu}(\text{s}) + 4\text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 將濃硝酸濃度、銅分子量、錐形瓶體積，代入理想氣體方程式，計算各 $\text{NO}_2(\text{g})$ 濃度所需之濃硝酸劑量及銅屑重量。（理想氣體方程式： $PV=nRT \rightarrow PM=WRT$ ）製作 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的實驗因



$\text{NO}_2(\text{g})$ 有毒而具有危險性。除了在使用濃硝酸時，必須配戴塑膠手套外，實驗亦需在通風櫥內進行。

1. 計算欲實驗之 $\text{NO}_2(\text{g})$ 濃度，及其所需要之銅屑重量和濃硝酸劑量，記錄於表上。
2. 將清潔劑倒入錐形瓶，使其內壁皆有其溶劑再拿去烘乾【註1】。烘乾時先將丙酮塗上，可知速烘乾【註2】。
3. 用電子天秤量取所需之銅屑，放入286.5ml錐形瓶中，插上分液漏斗。
4. 量取所需之濃硝酸，倒入分液漏斗。待反應後不久關閉開關，靜待反應完成【註3】。
5. 反應完成後，將瓶子置於白熾光源前，用光譜儀觀察，並拍照記錄。
6. 拍照後將瓶子移回通風櫥，將 $\text{NO}_2(\text{g})$ 抽盡後，再進行清潔工作。
7. 將錐形瓶改成624.4ml，並重複以上步驟。

【註1】因生成物中有水，在白熾光源照射下，會形成水汽而凝結在瓶壁上，使光譜模糊不清。若塗上清潔劑，會帶走塵埃，使水汽不易附著在瓶壁上，便能避免此情況發生。

【註2】丙酮揮發性強，可加速烘乾。

【註3】因瓶中有殘留空氣，在 $\text{NO}_2(\text{g})$ 產生後，會導致瓶內壓力過大，而造成爆烈的危險。故在反應開始時，先打開開關使空氣流出， $\text{NO}_2(\text{g})$ 會因比重較大而下沉，則不會有逸失的顧慮。

(三) 光譜儀的應用

以各種燈管為觀察對象，利用光譜拍攝技術，拍下各色電燈的光譜，並比較其中異同，藉此分析電燈的發光物質。

1. 收集各種具代表性的燈管，如日光燈管、太陽燈管、螢光燈管、霓虹燈管等。
2. 將燈管置於光譜儀前觀察，並拍照記錄。
3. 比較各種電燈的光譜並分析。

五、實驗結果

(一) 自製光譜儀的效果

透過本研究中自製的光譜儀觀察，在可見光的波段都可以看到有清晰的譜線出現。在 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的吸收光譜中，還可以明顯看出譜線清晰度隨著濃度變化的情形；利用自製光譜儀觀測燈管的發射譜線，也同樣可以清楚看到各色燈管在不同位置表現出其特殊的光譜型。

在操作過程中，發現狹縫長度和光譜寬度成正比的關係，即狹縫越長，看到的光譜越寬，也就是譜線的長度增加。另一方面，當伸縮筒拉長時，光譜兩端的距離也隨之拉長，也就是譜線之間的距離變長，但相對的光線也就顯得較黯淡。

基於以上種種關係，可依照觀察對象的不同，來調整光譜儀伸縮筒的長度。遇到較強的光源時（例如太陽），我們可以將筒子拉到最長，以求得到較長的光譜帶，對於較強的光源而言，光線隨筒長增加而減弱的程度不大，我們仍可看到較清晰的譜線；而對較弱的光源來說，我們則必須把筒長縮短，集中有限的光線才能便於觀察。

(二) $\text{NO}_2(\text{g})$ 光譜與濃度關係

從 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的光譜可知， $\text{NO}_2(\text{g})$ 濃度0.1M以上的譜線集中在藍紫色波長的部分，幾乎使藍紫光的波段呈現一片黑暗，另外在紅綠色光的部分也留下許多暗線；而濃度越低，藍色波長的光被吸收的程度越小，暗線也越來越不清楚，這說明了濃度和光譜吸收線的強度有明顯的正相關。

有些暗線特別清楚，無論大小濃度，都可以在相同的位置出現，這是因為在那些位置的譜線較多、較密集，即使濃度減小，相較之下仍然可以清楚地觀察到

這些位置有譜線。

(三) 各種燈管之光譜分析

由不同燈管觀察到的光譜可知，不同顏色的燈管在發射譜線的位置並無差異，但是在背景色的部分則突顯該燈管燈光的顏色。太陽燈管和日光燈管相較之下，只有紅綠藍光三個位置有特別明顯的譜線；至於氖氣霓虹燈管的譜線，則和日光燈有很大的差異。

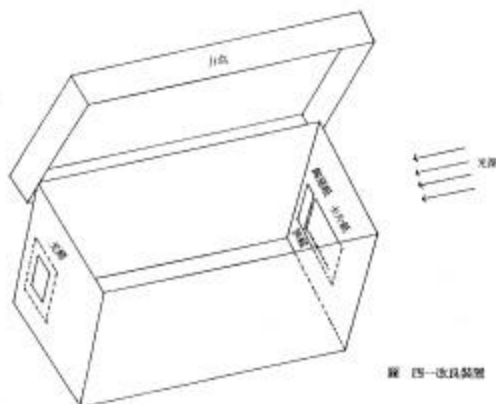
六、討論

(一) 這項光譜的技術，不僅可應用在 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的觀察上，凡是有顏色的氣體，例如 $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 等，或可以在可見光波段形成吸收暗線的光源，都能作為觀察的對象；同理，在可見光波段具有發射譜線的氣體，也可以應用自製光譜儀來觀察譜線。

(二) 根據環保署在各地方設置的測站資料，目前空氣中 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的濃度約為數十ppb，經過本研究實驗，在這麼稀薄的濃度中，較難分辨其譜線與連續光譜的差異，因此未加以應用在空氣品質的實地觀察。

(三) 經由光譜儀的設計，除了可以看到光譜和氣體濃度的關係外，還可以改良成如圖四的裝置以測得譜線的波長（見圖四）。

(四) 為將透過光譜儀所觀察的結果呈現出來，本研究使用單眼相機，調整不同的光圈、焦距、快門，以找出拍攝光譜的最佳狀態，若能利用數位攝影代替單眼相機的功能，應更可強化光譜儀的效果。



七、結論

本研究簡化了現代光譜儀的構造，自行製作了一個簡易的光譜儀，將光譜儀與我們日常生活的距離拉近，而為了加強自製光譜儀所看到的效果，我們不斷改良，諸如將筒內塗黑、加裝「抗反射裝置」等。雖然我們的光譜儀不如實驗室中的精良，但是卻能隨時利用它來觀察生活周遭的物品，比較它們譜線的異同。自行設計的光譜儀可以用來觀測有色氣體的吸收譜線，不同燈管的發射譜線，所得的觀測效果以 $\text{NO}_2(\text{g})$ 為例，即使濃度稀薄至 10^{-5}M 仍可觀察，且能明顯看出吸收光譜的強度與氣體濃度之間的關係。另外也可調整伸縮筒的長度，針對不同強度的光源，以獲得最好的觀測效果。

測量空氣的儀器很多，而我們希望藉由 $\text{NO}_2(\text{g})$ 在不同濃度下譜線的分布及變化情形，建立一系列有規律的光譜圖表，作為另一種研究空氣污染的方式。我們在實驗室中製作不同濃度的 $\text{NO}_2(\text{g})$ ，用相機拍下它們的光譜，並比較其與連續光譜的不同，觀察吸收譜線的分布位置，發現譜線的強度與濃度有正相關，濃度高於 10^{-3}M 以上時，譜線的變化均可觀測出來。

進一步觀察生活中的各種燈管，發現一個奇妙的現象——即使日光燈管的顏色不同，然而發射譜線卻大致相同，這是由於其中所充氣體相同的緣故。然而與太陽燈管和氬氣霓虹燈管相較，就有很大的差異，可見燈管的氣體主宰了燈的發射譜線，而我們也可以利用這項特點，初步分辨各種燈管內部氣體的組成是否相同。可見「觀其光譜，光焉瘦哉！」即使具有不同外表的燈管，在光譜儀中卻都毫無保留地露出它們內部的原貌。

近年來，光譜技術在科學方面的應用越來越廣泛，可以用來分析許多物質含有的成份，然而光譜的技術似乎離我們很遙遠，光譜也不是一般人都可以輕易使用的。在我們的實驗中，成功地做出了簡易的光譜儀，並易利用它進行許多不同物質的觀察，得到了很多有趣的結果，可見光譜技術的確有很大的發展空間，仍值得我們進一步研究。

八、參考資料

- (一) 中華民國第三十屆中小學科學展覽優勝作品專輯高中組「雨漸收、風漸停、霓虹霓、織彩夢」(79.6) 劉奕汶等四人。
- (二) 高中物理第三冊15-3 國立編譯館。
- (三) 高中地科實驗手冊第四冊 國立編譯館。

(四) <http://soloman.epa.gov.tw>。

1.八十五年台灣地區空氣品質監測報告。

2.空氣污染物濃度測值總彙表。

(五) <http://www.epa.gov.tw>。

空氣污染指標的定義。

(六) 東芝電燈產品目錄。

評語

本實驗在製作簡易光譜儀，並以之觀察大氣中有毒氣體的含量，研究內容雖然簡單，但方向明確，理路清楚，且由動手製作光譜儀的過程中了解光學儀器結構及原理，並深入了解光譜線的成因，是簡單但完整的一個實驗，該同學思路清晰，表達能力很強，且態度從容，對研究內容有明確了解，值得鼓勵。

