

# 雨漸收、風漸停，覓虹霓，織彩夢

## 高中組物理科第三名

台北市立建國高級中學

作    者：劉奕汶，吳明廣  
              楊家杰，葉恆誠  
指導教師：戴敏章，羅芳晁

### 一、研究動機

雨後天晴時，天邊偶爾可見一彎彩虹。為了探索虹的秘密，就借用了學校的分光儀來觀察陽光所產生的色散；在觀察時發現：在光譜中，出現了一條條的暗線，爾後看了書籍的說明，才知道那些暗線是太陽光譜被氣體所吸收而形成的。於是我們想：在大氣中的污染物質，會不會影響到天空中的虹或分光儀中的光譜呢？

### 二、研究目的

- (一)模擬大氣污染，觀察其是否對光譜有所影響。
- (二)利用裝了液體的圓柱形容器，用以模擬空氣中小水滴所產生的色散現象，再改變容器中的物質（如常見之污染物 $HNO_2$ ,  $H_2SO_3$ ），觀察色散（即「虹」）或光譜受到那些程度的影響。

### 三、研究設備器材

$HNO_2$ 一瓶， $HNO_3$ 一瓶， $H_2SO_3$ 一瓶， $H_2SO_4$ 一瓶，廣口瓶（附蓋）150mℓ三個、燒杯250mℓ 15個，光柵分光儀一台（每吋14500條之光柵），限光器一組，200W光源一個，直絲燈座（附燈罩）一個，

噴霧器一個，稜鏡分光儀一臺，照相機一架，蒸餾水。

## 四、研究過程與方法

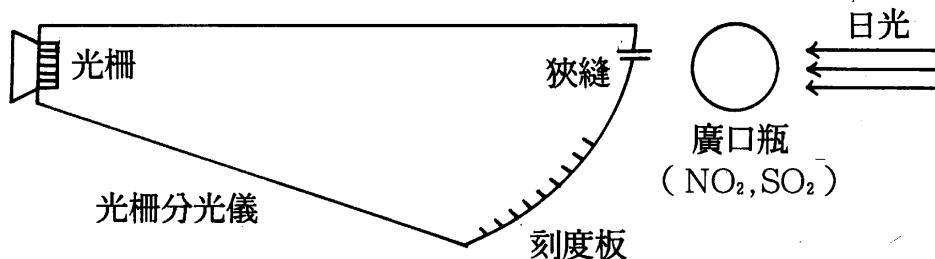
### (一)觀察太陽的吸收光譜：

1. 使用光柵分光儀向戶外天空觀測。
2. 記錄下光譜的暗線位置。
3. 將相機鏡頭置於分光儀觀測孔後，選擇適當角度，直接攝下太陽光譜。

### (二)污染空氣的光譜分析：

1. 太陽光經過NO<sub>2</sub>及SO<sub>2</sub>氣體的光譜分析。

(1)裝置：如下



(2)配置SO<sub>2</sub>，NO<sub>2</sub>150ml，裝入廣口瓶內。（燃燒硫以製造SO<sub>2</sub>；銅加入濃硝酸以製造NO<sub>2</sub>）

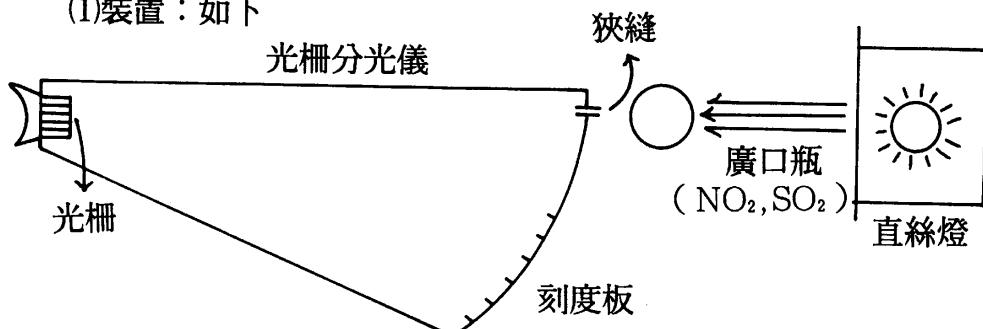
(3)將裝有空氣，SO<sub>2</sub>，NO<sub>2</sub>的廣口瓶依次放在分光儀前。

(4)觀察並記錄通過SO<sub>2</sub>，NO<sub>2</sub>之光譜與通過空氣之光譜線有何不同。

(5)用照像機拍攝出吸收光譜。

2. 白熾燈光經過NO<sub>2</sub>及SO<sub>2</sub>氣體的光譜分析。

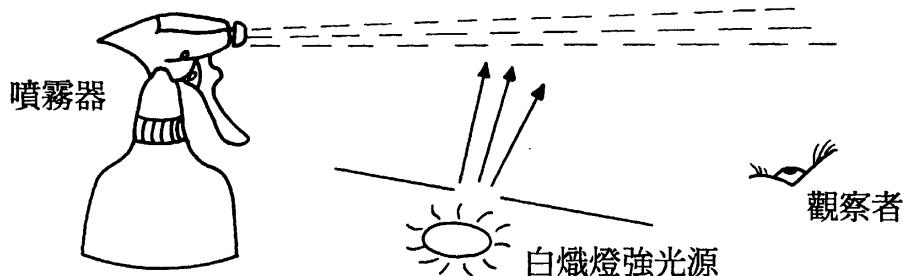
(1)裝置：如下



- (2) 觀察白熾燈之光譜。
- (3) 將配置好的SO<sub>2</sub>氣體放在上圖的位置，觀察並記錄通過SO<sub>2</sub>的光譜與白熾燈光光譜有何不同。
- (4) 準備0.3g的銅絲加入5ml，71.5%的HNO<sub>3</sub>中製造NO<sub>2</sub>氣體。
- (5) 觀察並記錄通過不同濃度NO<sub>2</sub>氣體的吸收光譜（每隔10秒記錄一次）。
- (6) 用照相機拍攝出其光譜。

### 3. 噴霧模擬彩虹：

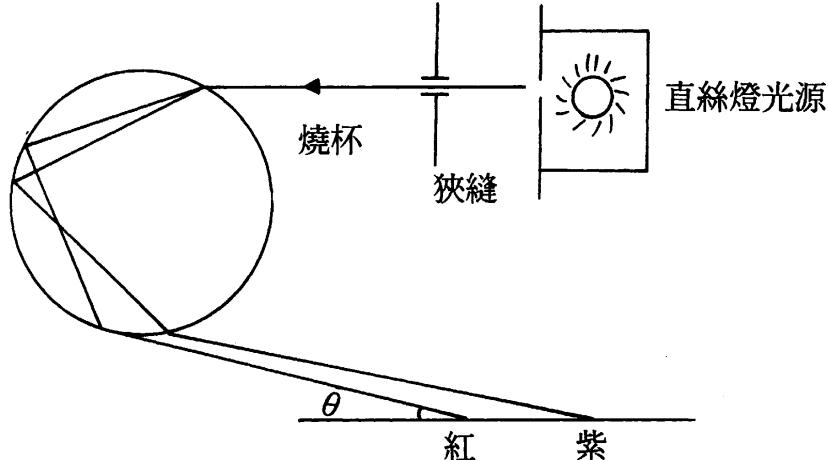
- (1) 裝置：如下



- (2) 以裝水的噴霧器不停噴出水霧，讓白熾燈光照射。
- (3) 將裝有空氣，SO<sub>2</sub>，NO<sub>2</sub>的廣口瓶依次放在觀察者前。
- (4) 觀察並記錄通過SO<sub>2</sub>，NO<sub>2</sub>的彩虹與通過空氣有何不同。
- (5) 用照像機攝出彩虹。

### (三) 汚染雨水的光譜及折射角分析：

1. 裝置：如下



2. 配置  $H_2SO_4$ ,  $H_2SO_3$ ,  $HNO_3$ ,  $HNO_2$  水溶液，濃度為  $10^{-1}M$ ,  $10^{-2}M$ ,  $10^{-3}M$  各  $200m\ell$ 。
3. 將裝有水及上述各溶液的燒杯，置於上圖的位置。
4. 調整燒杯，使色散最清楚。
5. 觀察並記錄酸液與水的光譜差異處，並量出紅光與紫光偏折角的補角  $\theta$  的度數。

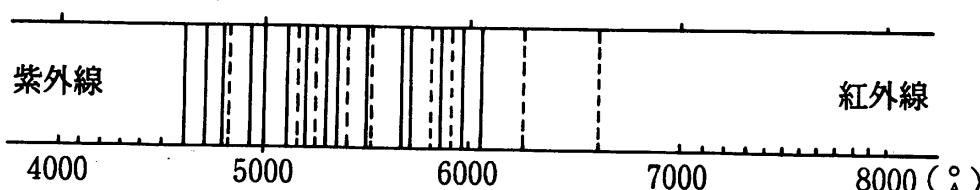
(四)預測自然水所含酸類及其濃度：

1. 裝置：同(三)1。
2. 搜集各地水樣品  $500m\ell$
3. 裝水樣品  $200m\ell$  於燒杯，並將其放於圖(三)1. 處。
4. 調整燒杯，使色散最清楚。
5. 測量水樣品紅，紫光  $\theta$  角度數，並預測其水中所含酸類之濃度。

## 五、研究結果

(一)觀測太陽的吸收光譜：

1. 利用分光儀所見之太陽光譜為連續光譜，其中有一些暗線。
2. 觀測記錄：可見吸收光譜如圖一之虛線，以  $5180^\circ$  及  $5900^\circ$  最明顯。



(二)污染空氣的光譜分析

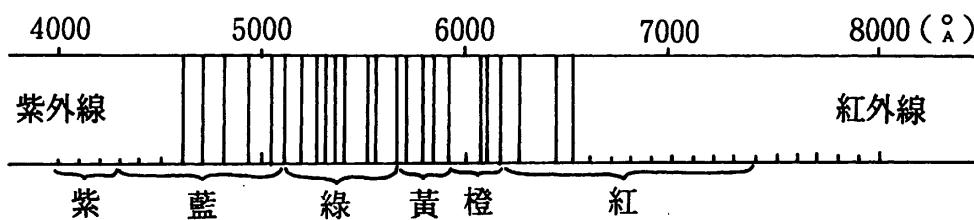
1. 以太陽為光源（使用光柵分光儀）  
 (1) 過  $NO_2$  之光譜：可見除原有之暗線外，增加更多暗線。其中以  $4800^\circ_A \sim 5600^\circ_A$  最明顯。且藍紫光減弱。  
 (2) 過  $SO_2$  之光譜：無增加暗線，但  $7200^\circ_A$  以外被吸收至消失。  
 (3) 過空氣之光譜：沒有變化。

## 2. 以白熾燈為光源

(1) 白熾燈光譜：為一連續光譜，不產生任何暗線。

(2) 過 $\text{NO}_2$ 之光譜：可見明顯的暗線，且藍、紫光有明顯被吸收現象。 $\text{NO}_2$ 濃度愈高，暗線愈多，濃度甚大時， $4500^\circ\text{\AA}$ 以下的光均被吸收而看不到（如圖二）

(3) 過 $\text{SO}_2$ 之光譜：為連續光譜，但 $7200^\circ\text{\AA}$ 有被吸收現象。



## 3. 噴霧模擬彩虹

(1) 噴霧器內裝水，在暗室以白熾燈模擬日光進行噴霧，透過空氣即可見虹的出現，隱約可見霓的存在。

(2) 過 $\text{NO}_2$ 之彩虹：在藍、綠光明顯被吸收，且不易看出暗線。

(3) 過 $\text{SO}_2$ 之彩虹：紅光邊緣部分光度減弱，紅光範圍縮。

### (三) 汚染雨水的光譜及折射角分析

根據實際操作觀察測量所得結果如下表：

溶液種類 溶液 濃度(M) PH值 偏折角 之補角	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$			$\text{HNO}_3$			$\text{H}_2\text{SO}_3$			$\text{HNO}_2$			
		$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	
		7.02	0.98	1.76	2.61	0.99	1.99	3.10	1.83	2.25	3.37	1.88	2.21	2.96
紅光	0角	42.83	39.46	41.39	41.64	41.65	41.22	38.97	40.06	40.11	40.21	41.78	41.38	40.11
紫光	0角	40.69	38.47	40.49	40.81	40.86	40.07	37.98	39.58	38.65	38.83	40.57	40.37	39.57
色散光譜 和水差異	/	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

#### (四)預測自然水所含酸類及其濃度

根據實驗所觀察之結果及記錄，再以電腦輔助預測，結果如下：

水種類	收日 集期	採集樣本地點	光偏折角之補角θ		根據前表之資料加以預測之結果		
			紅光	紫光	含酸類	濃度(M)	PH值
雨 水	79. 1.20 ~79. 1.21	和平東路三段	42.37 °	41.26 °	HNO <sub>2</sub>	0.1	1.88
	79. 1.21 ~79. 1.22	中山區榮星花園附近	41.61 °	40.99 °	HNO <sub>3</sub>	0.1	0.99
	79. 1.14 ~79. 1.16	陽明醫學院	41.42 °	40.85 °	HNO <sub>3</sub>	0.1	0.99
河 (溪) 水	79. 2.11	淡水河渡船口	40.19 °	39.25 °	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0.1	1.83
	79. 2. 4	基隆河圓山段	41.77 °	40.88 °	HNO <sub>3</sub>	0.1	0.99
	79. 2. 9	新店溪碧潭段	42.17 °	41.34 °	HNO <sub>2</sub>	0.1	1.88

## 七、討論

(一)太陽的吸收光譜：推測成因爲：陽光經周圍氣體及地球大氣分子吸收固定波長的光後，就在連續光譜中產生暗線或暗帶。

(二)污染空氣的光譜分析：

1. 過SO<sub>2</sub>之光譜：無論以陽光或白熾燈爲光源，觀察其色散（光譜及彩虹）均可見紅光被吸收一部分，因此大氣中SO<sub>2</sub>濃度遽增時，光譜或彩虹均可見明顯的變化。

2. 過NO<sub>2</sub>之光譜：由於NO<sub>2</sub>吸收光譜線在可見光範圍內，且集中於藍、紫光區，故觀察時遠較SO<sub>2</sub>容易。以分光儀觀察，可見許多暗線及暗帶（不論以何物作爲光源），但因水滴所產生的色散解析度較低，故只能見藍、紫光消失，而看不到暗線的存在。

※經由1, 2的實驗，即在模擬空中含NO<sub>2</sub>及SO<sub>2</sub>等污染氣體之情形，可知藉由污染空氣的光譜分析，可測定空氣中嚴重污染的情形。

(三)噴霧模擬彩虹：可証明虹霓的確是空氣中無數的小水滴同時對日光產生折射及反射而形成之色散現象的組成。

(四)污染雨水的光譜及偏折角之觀察

1. 光通過不同液體均無暗線，且無一光色減弱，可推測液體分子對可見光的吸收暗線可能極細小，或不在可見光範圍內。
2. 實驗所得水之紅光  $\theta$  角 =  $42.83^\circ$ ，紫光  $\theta$  角 =  $40.69^\circ$ ，與「基礎理化課本」所述紅光  $\theta$  角 =  $42^\circ 2'$ ，紫光  $\theta$  角 =  $40^\circ 17'$  之值有所出入，經推測後認為因為光通過燒杯時另產生微小折射所致。
3. 經由多次對  $\theta$  角的比較後發現： $\theta$  角的值與溶液濃度並無關係，頂多只有類似比例的現象，因此，可能僅與溶液種類有關。

(五)預測所收集之水樣品所含酸度及濃度

1. 根據原始構想，我們想利用實驗(三)所得到的數據對樣品水作可靠的預測，藉此分析其中所含之酸類及濃度，PH值等數值。但因實驗範圍所得數據並不周詳，因此預測時，出現了如前所述的不合理結果。
2. 改進預測方式：  
(1) 實驗所配製的溶液，濃度只在  $10^{-1} \sim 10^{-3}$  M，於是我們增加較小濃度之酸液的實驗。又因酸雨中主要為  $H_2SO_4$  及  $HNO_3$ ，故增加此兩種溶液  $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$  M 之  $\theta$  角測量。結果如下：

溶液種類	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			HNO <sub>3</sub>		
	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$
溶液濃度(M)						
PH 值	4.36	5.74	6.12	3.95	5.21	6.15
Q角 (°) 紅光	40.93	42.16	42.44	41.95	42.38	42.78
色散與水差異	無			無		

(2)再照水樣品所測得之  $\theta$  值於關係圖上預測所含酸類濃度，並計算出其 PH 值。

(3)用 PH 儀測出樣品水之 PH 值並記錄之，再與(2)中預測值作比較。

### 3. 新預測方法所得結果：

水種類	搜集日期	採集樣本地點	光偏折角之補角 Q		預測結果	PH值測得
			紅光	紫光		
雨	79、1、14 79、1、16	陽明醫學院	41.42 °	40.85 °	5.1 ~ 5.9	5.14
	79、1、20 79、1、21	和平東路三段	42.37 °	41.26 °	6.2 ~ 6.5	6.25
水	79、1、21 79、1、22	榮星花園附近	41.61 °	40.99 °	5.6 ~ 6.6	6.52
	79、2、4	基隆河圓山段	41.77 °	40.88 °	5.8 ~ 6.8	6.63
( 溪 )	79、2、9	新店溪碧潭段	42.17 °	41.34 °	6 ~ 6.8	7.35
	79、2、11	淡水河渡船口	40.19 °	39.25 °	5 ~ 5.8	6.52

4. 由3之數據可發現新預測結果，與精密儀器之測量接近，誤差縮小很多。且雨水的預測較河水為準，應是因河水所含物質較複雜之故。

## 七、結論

環境保護與污染防治為現今國家之重要目標，但必須能監視污染程度，才能有效防治。本實驗發現：除了化學分析外，確實可以用上述之簡單方法直接分析天空之空氣污染及酸雨含酸程度。因此結論是：

- (一)利用分光儀分析太陽光譜的變化即可簡易得知空氣中NO<sub>2</sub>氣體及SO<sub>2</sub>氣體污染的程度。
- (二)利用噴霧方法可證明虹是由空中無數小水滴產生色散現象的組合。
- (三)觀察天空彩虹各色光的強弱可判斷空氣中NO<sub>2</sub>及SO<sub>2</sub>污染程度。
- (四)當空中液滴成分發生變化時，所觀查到的虹仰角亦發生變化。如此亦可作為酸雨之酸度判定方法。

## 八、參考資料

- (一)高級中學基礎理化上、下冊，國立編譯館，78年8月。
- (二)高級中學物理學（自然組）下冊，東華書局，74年12月。
- (三)大學物理，Sears. Zemansky. Yang.
- (四)水污染與廢水處理，吳家誠。
- (五)大氣污染與光化學反應，吳家誠。

## 評語

1. 嘗試以物理方法判斷水及空氣中之污染成份，構想獨特。
2. 在測量項目上未能掌握變因間的關係，是為瑕玷。