

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 地球科學科

最佳創意獎

040504

夕陽無限好，「散射」知多少

學校名稱：臺中市私立立人高級中學

作者： 高二 黃耀陞	指導老師： 柯瑞龍
---------------	--------------

關鍵詞：雷利散射、三原色、色度表

前言

在開始做實驗之前，只是想拍出美麗的夕陽，後來，提出了疑惑，想要找出是否有規律性質，開始收集相關資料。討論後，受到老師的鼓勵，決定開始作一篇完整的研究報告。原先只想探討為何夕陽顏色的變化有這麼大的差異性，但做了之後才知道，還有很多知識是自己所欠缺，需要去補齊的。隨著收集到的資料從雜亂拼成一幅清晰的地圖，猶如砌牆一般步步築出踏實的感覺，產生了莫大的成就感。

這篇研究或許未能證明出新的理論架構，但卻了解散射為何不在高中教材中，是因為其需要討論的因素是如此多元且難以控制。期待自己未來可以持續進行探討，並希望能利用簡單的量度表瞭解天後氣象與大氣狀況的關係，將它反饋於生活中。

壹、研究動機

古人言：「夕陽無限好，只是近黃昏。」確實，天空一旦邁入日落時分，往往會變得通紅而絢麗。究竟，為何一到了黃昏時刻，天空就會產生如此巨大的變化呢？影響夕陽顏色的因子又是哪些呢？經過了資料查證以後，用簡易的理論寫了一篇小論文投稿。而此次科展，則為小論文的延伸，希望能藉由實驗重現散射公式的確切性。

設計實驗前，我又去尋找更多資料以便尋求確切的實驗目標和方向。在一本文獻資料中，我看到過去的科學家曾對此做過類似的研究。他們將觀測天空這個部分分成兩大散射系統在兩個狀態下去討論，分別是：**1.雷利散射(Rayleigh)**和**2.米氏散射(Mie scattering)**，而兩個狀態則為：**1.天空有雲系**和**2.無雲系**下去討論。

文中提及，**雷利散射**適用於散射粒子大小小於等於光波的波長；**米氏散射**則適用於較大的粒子；而更大的粒子則會導致一般光學常見的反射及繞射現象，不屬於散射範圍。因此用有雲系實驗空氣中分子的繞射現象；用無雲系測得各種粒子造成散射的差異。但文中也有提到雲的種類不同其液態水和冰晶的含量皆不同，使得有雲系的狀態下計算十分複雜。

貳、研究目的

- 一、探討夕陽顏色變化的成因。
- 二、以固定拍照及收集資料來尋找哪些因子有相關性
- 三、探討不同顏色光在不同距離時的色散程度
- 四、探討不同顏色光在不同介質時的色散程度
- 五、探討不同顏色光在相同介質時不同距離的色散變化
- 六、試著完成最後量表

參、研究設備及器材

一、實驗設備

(一) LED燈泡	1 個
(二) 小太陽能板	1 片
(三) 數位相機	1 台
(四) 電腦	1 台
(五) 三用電表	1 台
(六) 大太陽能板	1 片
(七) 電池型三用電表	1 台
(八) 鍍錫儀器	1 組
(九) 固定用活動看板	1 個

二、實驗器材

(一) 紅色玻璃紙	1 張
(二) 綠色玻璃紙	1 張
(三) 藍色玻璃紙	1 張
(四) 黃色玻璃紙	1 張
(五) 紫色玻璃紙	1 張
(六) 紙箱	數個
(七) 捲尺	2 條
(八) 玻璃容器	1 個
(九) 樂高積木	1 盒
(十) 黑布	1 張
(十一) 膠帶	數捲
(十二) 水管	2 管
(十三) 三稜鏡	1 個
(十四) 光碟片	1 片
(十五) 粉筆	數枝
(十六) 透明壓克力板	數片
(十七) 塑膠繩	數條
(十八) 鐵夾	2 個

肆、研究過程或方法

一、前測實驗

一般來講，光的散射由雷利散射、米氏散射、拉曼散射所構成，由於雷利散射比例佔絕大多數，故實驗以雷利散射為主。以下是自己之前所做的小論文當作前測實驗的節錄：

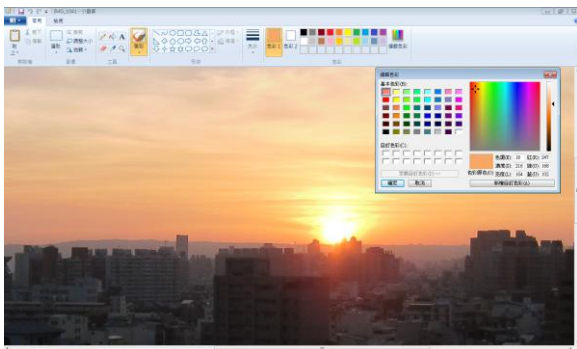
(一)、夕陽顏色變化成因—雷利散射：

根據雷利散射定律的數學公式 $I(\lambda)_{scattering} \propto \frac{I(\lambda)_{incident}}{\lambda^4}$ ，雷利散射光的強度和入射光波長 λ 的4次方成反比，其中 $I(\lambda)_{incident}$ 表示入射光強度『同時每一種色光之間的散射程度亦不一樣，它是與波長四次方成反比，所以波長較短的光(例如藍色)比波長較長的光(例如紅色)，更易於被粒子散射。』(光的故事，何志堅，p.155)

這就能解釋為何天空看是藍色的，因為波長較短的藍、紫光較易散射出去。而肉眼對紫光不敏感，所以白天的天空是藍色而不是散射程度最劇的紫色。當光線不斷被散射直到抵達傍晚的地區時，此時光線中的藍、紫光已被散射殆盡，剩下紅、黃光，因此夕陽的顏色為留下的其他光，也就是紅、黃、橘的色光居多。

(二)、觀測實驗：

以麥克筆畫出固定拍攝位置，在自家頂樓(14層樓)且光圈固定的情況下，拍攝夕陽。再用小畫家裡的滴漏工具圈選出夕陽顏色並測出其中的 RGB 值。(如圖 A-1)



(圖 A-1)

二、以照片測出 RGB 數值為主的實驗

(一)、經過水管投影在牆壁上的實驗：

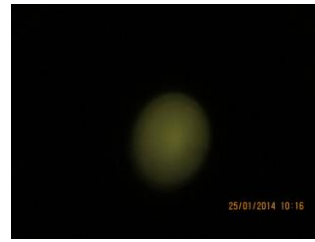
- 1、將兩公尺長水管水平放置，用樂高積木將它水平等高。
- 2、左端放置固定 LED 光源，藉由更換玻璃紙來模擬不同色光。
- 3、把影像照起來再行分析。(如圖 B-1)



(圖 B-1)



(圖 B-2, 白色)



(圖 B-3, 黃色)



(圖 B-4, 紫色)

(圖 B-5, 紅色)

(圖 B-6, 綠色)

(圖 B-7, 藍色)

4、最後結果如上各圖。(如圖 B-2~B-7)

5、調整距離再次攝影。(如圖 B-8~B-13)



(圖 B-8, 白色)

(圖 B-9, 黃色)

(圖 B-10, 紫色)



(圖 B-11, 紅色)

(圖 B-12, 綠色)

(圖 B-13, 藍色)

(二)、經過水管、三稜鏡投射到光碟片上的實驗：

我們改變實驗，想利用三稜鏡和光碟片能將光分成色帶光的特性，藉由色帶長度改變，來判斷各色光強弱。以下為實驗步驟：

- 1、用樂高積木讓整個系統水平保持等高。
- 2、將光線通過水管引導到用黑布遮起來的箱子(視同黑體)。(如圖 B-14)
- 3、將捲尺貼在桌上以方便觀測距離。

4、用樂高積木光碟片在水管的前端。

5、用樂高積木架起放置相機的小平台(不影響光照為前提)。(如圖 B-15)



(圖 B-14)



(圖 B-15)

6、通過三稜鏡的影像如下。(如圖 B-16~ B-19)



(圖 B-16, 白色)



(圖 B-17, 紅色)



(圖 B-18, 藍色)



(圖 B-19, 綠色)

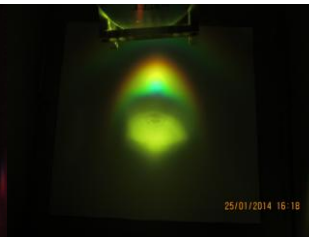
7、經光碟片所呈現的像如下(如圖 B-20~)



(圖 B-20, 白色)



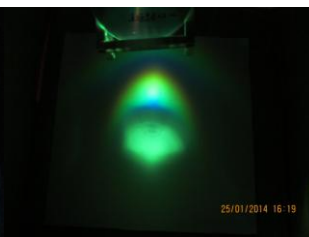
(圖 B-21, 紫色)



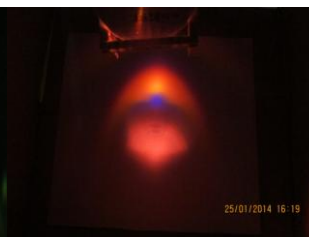
(圖 B-22, 黃色)



(圖 B-23, 藍色)



(圖 B-24, 綠色)



(圖 B-25, 紅色)

三、以三用電表、小太陽能板測出數據為主的實驗：

(一)、用三用電表測出電流的實驗：

經過思考後，覺得直接顯示出數據(如電流)作為量化值的實驗，較有探討的價值。本來擔

心太陽能板不夠敏感，後來發現可行，所以繼續做下去。實驗步驟如下：

- 1、將太陽能板固定在紙箱上。(如圖 C-1)
- 2、將紙箱壁上割出跟太陽能板同寬的小洞。
- 3、將紙箱內部塞滿黑布以吸收多餘光線，留下平行光。
- 4、將捲尺貼在桌上以方便觀測距離。
- 5、變換色光時，將玻璃紙平貼在入射的洞口上。
- 6、更換箱子內的介質，如水、粉筆灰來模擬大氣。(如圖 C-2)



(圖 C-1)



(圖 C-2, 玻璃容器壁之誤差值忽略)



(圖 C-3, 三用電表)

- 7、利用三用電表測出數值。(如圖 C-3)
- 8、最後將資料統整後繪出圖表。

四、戶外實驗

(一)、用自製觀測器進行測量的實驗：

此部分為獲獎之後新增之實驗，主要的想法是想補齊與修正前述實驗的缺失，但礙於時間因素，我們將實驗步驟確定後，所剩下時間已經不多，故其結果的準確性有待加強。以下為實驗步驟：

- 1、將太陽能板焊接以拉出導線。
- 2、將前述實驗中的水管當做觀測器的主體。
- 3、將太陽能板貼於底部，封死後留下導線。
- 4、用樂高積木架出可固定壓克力板之平台。
- 5、找到中心並用塑膠繩將它懸空，再用夾子將它固定。
- 6、推出戶外到固定地點，將導線接上攜帶型三用電表。
- 7、固定方位角的方式為看影子，成一直線時再行實驗。
- 8、固定仰角方式為，找出最大值，便是太陽為正中心。
- 9、更換其他黏上玻璃紙的壓克力板以測量其他色光。
- 10、上網搜尋當天的相關數據，整理完資料後，觀察關聯性。



(圖 D-1，組裝完成的觀測器) (圖 D-2，攜帶型三用電表) (圖 D-3，黏上玻璃紙的壓克力板)

伍、研究結果

一、前測實驗

測出的 RGB 數值後再與氣象局所提供當日台中區域的空氣品質等資料結合，用 EXCEL 繪成表格。其中，空汙粒子有「最高濃度」和「即時濃度」之分。將相關值超過 0.45 的數值以紅色做標記。(如圖 A-2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	相關係數											
2												
3	取"即時濃度"						取"最高濃度"					
4	R	G	B	R	G	B						
5												
6	二氧化硫→R	二氧化硫→G	二氧化硫→B	二氧化硫→R	二氧化硫→G	二氧化硫→B	二氧化硫→R	二氧化硫→G	二氧化硫→B	二氧化硫→R	二氧化硫→G	二氧化硫→B
7	-0.5327	0.78709	0.331754	-0.16965	0.78481	0.364841	0.78481	0.364841	0.364841	0.78481	0.364841	0.364841
8	一氧化碳→R	一氧化碳→G	一氧化碳→B	一氧化碳→R	一氧化碳→G	一氧化碳→B	一氧化碳→R	一氧化碳→G	一氧化碳→B	一氧化碳→R	一氧化碳→G	一氧化碳→B
9	-0.09771	-0.6554	-0.5898	0.246796	-0.6337	-0.33033	-0.6337	-0.33033	-0.33033	-0.6337	-0.33033	-0.33033
10	臭氧→R	臭氧→G	臭氧→B	臭氧→R	臭氧→G	臭氧→B	臭氧→R	臭氧→G	臭氧→B	臭氧→R	臭氧→G	臭氧→B
11	-0.31338	-0.26857	0.48161	-0.20933	0.060664	0.014998	0.060664	0.014998	0.014998	0.060664	0.014998	0.014998
12	懸浮微粒→R	懸浮微粒→G	懸浮微粒→B	懸浮微粒→R	懸浮微粒→G	懸浮微粒→B	懸浮微粒→R	懸浮微粒→G	懸浮微粒→B	懸浮微粒→R	懸浮微粒→G	懸浮微粒→B
13	0.30021	-0.8809	-0.36319	0.179146	-0.7159	-0.23367	-0.7159	-0.23367	-0.23367	-0.7159	-0.23367	-0.23367
14	二氧化氮→R	二氧化氮→G	二氧化氮→B	二氧化氮→R	二氧化氮→G	二氧化氮→B	二氧化氮→R	二氧化氮→G	二氧化氮→B	二氧化氮→R	二氧化氮→G	二氧化氮→B
15	-0.27814	0.288509	0.49828	0.051975	-0.07614	0.114351	0.051975	-0.07614	0.114351	0.051975	-0.07614	0.114351
16	溫度→R	溫度→G	溫度→B	溫度→R	溫度→G	溫度→B	溫度→R	溫度→G	溫度→B	溫度→R	溫度→G	溫度→B
17	0.4853	-0.39432	0.031591	0.4853	-0.39432	0.031591	0.4853	-0.39432	0.031591	0.4853	-0.39432	0.031591
18	濕度→R	濕度→G	濕度→B	濕度→R	濕度→G	濕度→B	濕度→R	濕度→G	濕度→B	濕度→R	濕度→G	濕度→B
19	-0.23676	-0.17177	-0.03498	-0.23676	-0.17177	-0.03498	-0.23676	-0.17177	-0.03498	-0.23676	-0.17177	-0.03498
20	氣壓→R	氣壓→G	氣壓→B	氣壓→R	氣壓→G	氣壓→B	氣壓→R	氣壓→G	氣壓→B	氣壓→R	氣壓→G	氣壓→B
21	-0.13569	0.51528	0.37776	-0.13569	0.51528	0.37776	-0.13569	0.51528	0.37776	-0.13569	0.51528	0.37776
22	雨量→R	雨量→G	雨量→B	雨量→R	雨量→G	雨量→B	雨量→R	雨量→G	雨量→B	雨量→R	雨量→G	雨量→B
23	-0.29336	0.093153	-0.3	-0.29336	0.093153	-0.3	-0.29336	0.093153	-0.3	-0.29336	0.093153	-0.3

(圖 A-2)

結論：

- 1、G 對大多數空氣汙染物質有中、高度相關。
- 2、R 對溫度是三者裡唯一有達到中度相關的。
- 3、G 對氣壓高低有中度相關。

不夠精準之可能原因：

1、拍照當時太陽仰角不同：

下圖為我自己拍攝的簡易縮時攝影。(如圖 A-3)

你會發現就算是同一天，夕陽顏色也會因為太陽仰角不同而有不同的變化(儘管當時的空氣成分差距不大)。



(圖 A-3，2013 年 7 月 3 日 18 時 27 分~18 時 58 分，縮時攝影)

其原因為當太陽仰角較小時，太陽光要穿過較厚的大氣層，『據計算，太陽在地平線所透過的大氣層厚度，為日間太陽在天頂時大氣層厚度的卅五倍之多。』(光的故事，何志堅，p.157)而較容易發生散射現象。

2、資料不能完整表達結果：

我認為單就一個 G 並不能代表當天顏色，尚須依靠 R 跟 B 做調整。所以我的解釋為：「在 R 值接近飽滿的前提下，懸浮微粒增多，G 值會下降。」也就是，天空會由橘黃色轉為暗紅色。

3、太陽光照射通過多處測站：

由於樣本只取大里地區，並不能確定影響較明顯的空氣塊是屬於大里區的空氣，可能其他測站的資料有著較高的相關性。

又測站所能測得的數值多為靠近地表的數據。假設在某個高度的物質濃度不一樣，雖地表變因一樣，也會有不同結果。

4、考慮到的變因不夠多：

如題，會散射的物質種類繁多。因各地的地理性值不同，各因子的影響力也會有所不同。舉例來說，在海邊看到夕陽可能是海鹽或水滴；那在沙漠看到夕陽就不會用此因素去考慮。

事實上，能影響的因素實在太多所以並不能果斷、明確得指出就是因為這幾個因子才會導致今天有這樣的風景。

5、觀測數據過少：

因前幾個月控制變因沒有嚴謹控制，導致去蕪存菁後，留下剩 10 筆資料的窘境。而我覺得過少的資料確實會影響到整體資料的精準性。

二、以照片測出 RGB 數值為主的實驗

(一)、經過 2 公尺水管投影在牆壁上：

無法處理 RGB 變化量不能直接表示光強變化。而且發現 RGB 值關係到顏色的變化量，而不是亮度的變化。例：以白光調整為例，是白變成灰，但白光本身沒有變化，只是強弱改變而已，故無法以此說明光的強度。

(二)、經過 2 公尺水管、三稜鏡投射到光碟片上：

成功分離出不同顏色的色帶光，但礙於變數無固定確實，所以要有高精準度有著相當的難度。但依舊可以幫上忙。

三、以三用電表、小太陽能板測出數據為主的實驗

(一)、用三用電表測出電流

從這項實驗開始，觀測到的數據由數字直接顯示，不必透過電腦程式，更能精準表達。因此，用數據繪製了表格。討論方式以 **A 獨立實驗討論** 和 **B 綜合實驗討論** 做分類。

A 獨立實驗討論

以下單位及公式皆為固定：

強度：毫安培

長度：公分

介質：除了資料 4(粉筆灰)以外都為水

X 的衰退值： X 在不同距離下強度/ X 在最近距離下強度

(實驗資料 1 為例外)

X/距離平方： X 在不同距離下強度*該距離的平方倒數

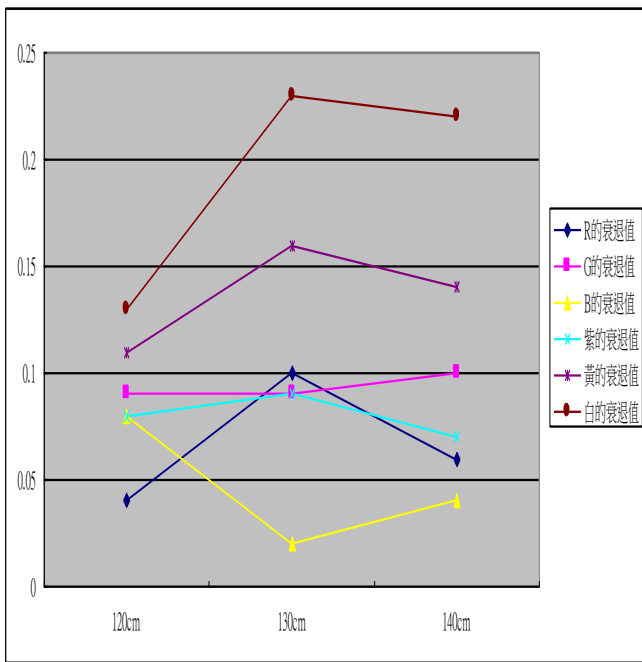
對比 X 的衰退值： $(X$ 在無介質不同距離下強度 - X 在其他介質該距離強度)/ X 在無添加最近距離下強度

對比 X/距離平方： $(X$ 在無介質不同距離下強度 - X 在其他介質該距離強度)* 該距離的平方倒數

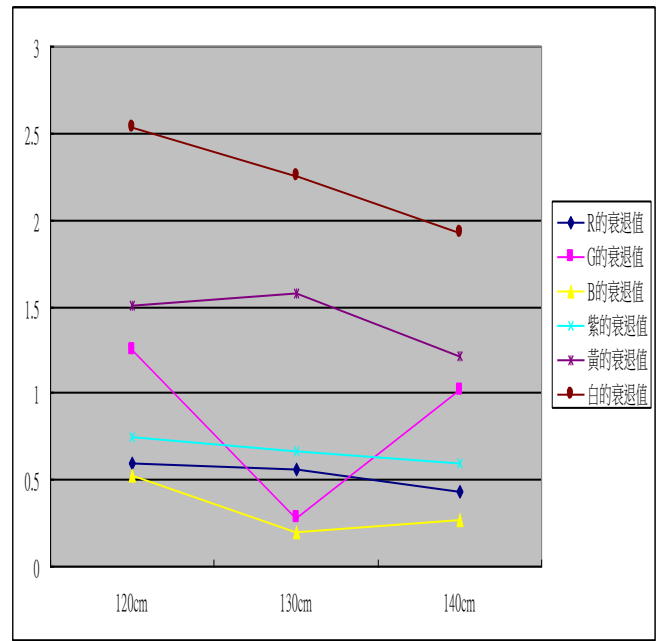
下列表格順序皆為：無添加→加介質→二者對比

(實驗資料 1 為例外)

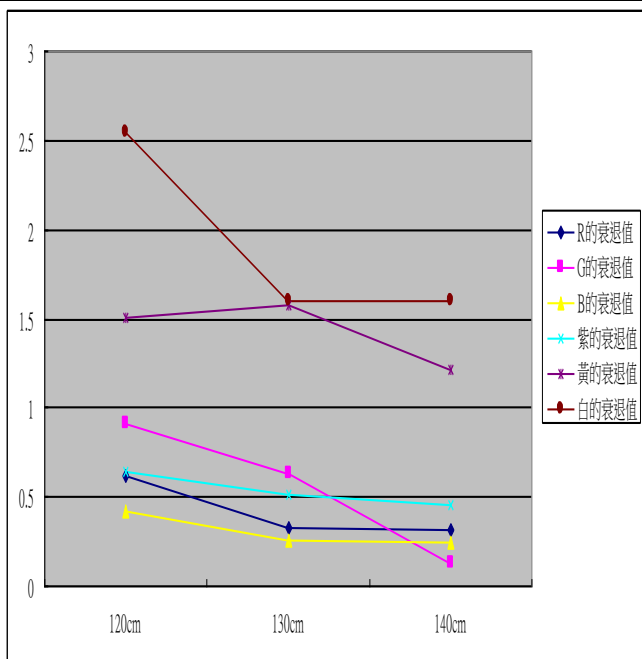
實驗資料 1-1



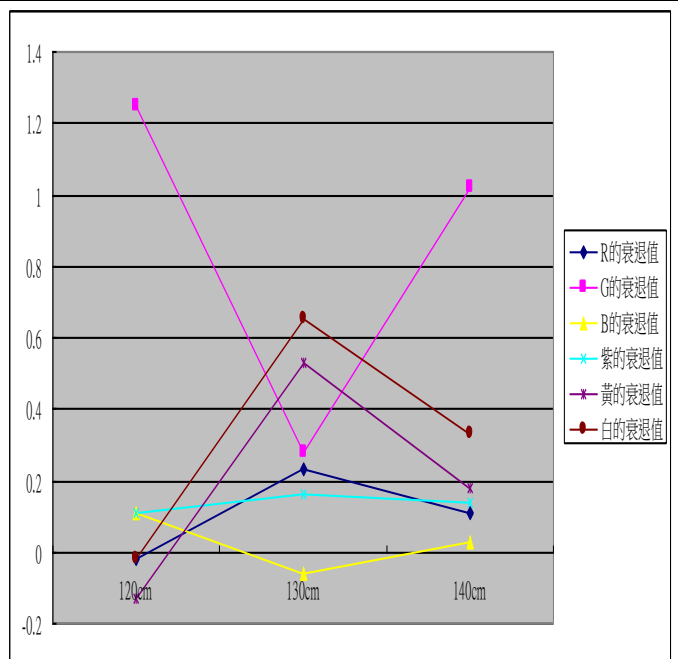
(實驗資料 1-1，誤測)



(實驗資料 1-1，無添加)



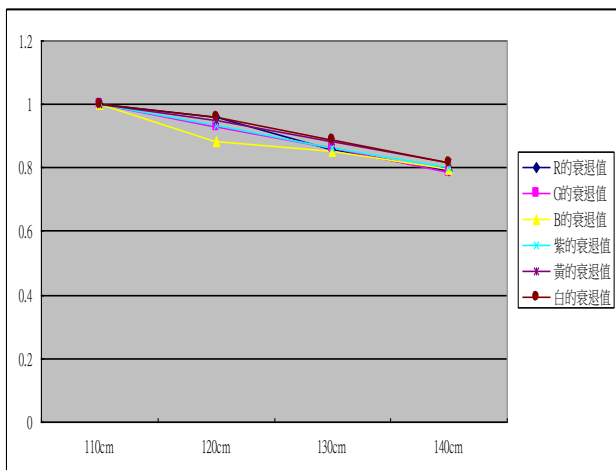
(實驗資料 1-1，添加水)



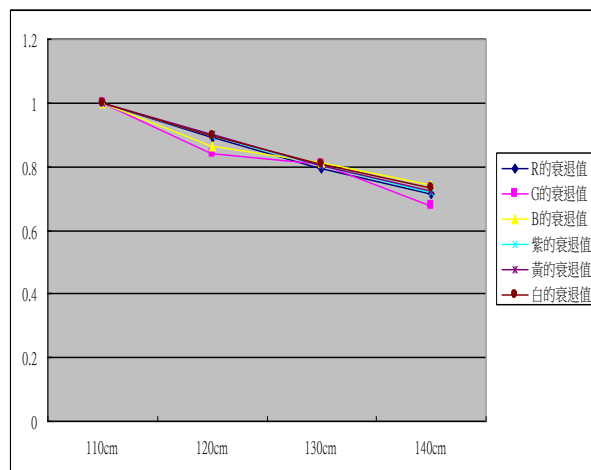
(實驗資料 1-1，對比)

此四表為用前者強度”減去”後者強度。誤測乃因入射口被黑布擋住，影響到數據。經討論認為衰退值應該用除法算出其百分比較為恰當。最終考量數據量小，和算式錯誤等問題，選擇不參考此表格。

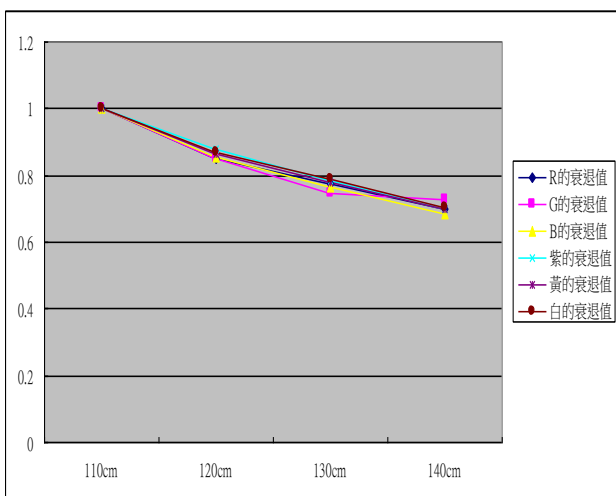
實驗資料 1-2



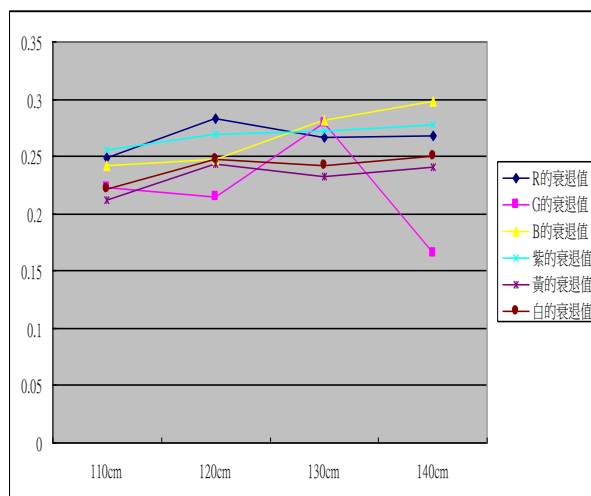
(實驗資料 1-2，誤測)



(實驗資料 1-2，無添加)



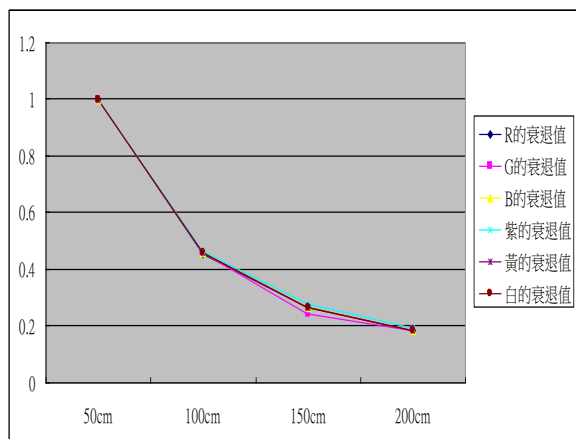
(實驗資料 1-2，添加水)



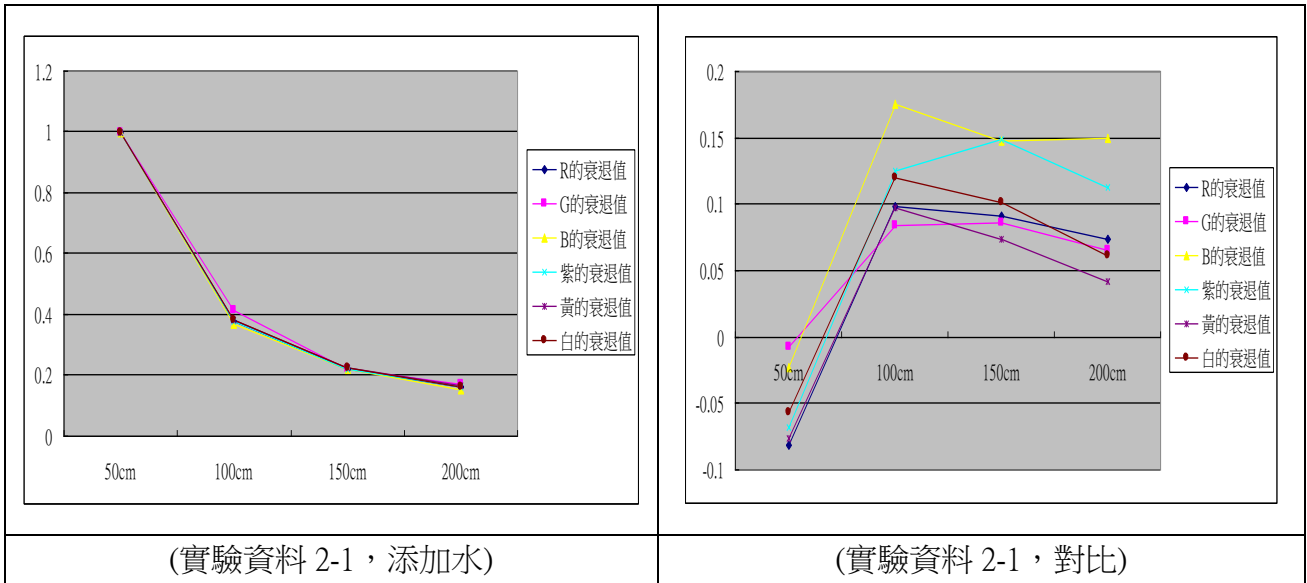
(實驗資料 1-2，對比)

由表可看出各色光皆有接近的衰退比例，會造成此次結果我們猜測單位距離隔的太近，無法使其有明顯散射。

實驗資料 2-1



(實驗資料 2-1，無添加)



我們將範圍擴張到 200cm。由表可看出兩者的線性關係接近，但一樣無法看出何種色光衰退程度較高，且發現添加水在 50cm 時反而比無添加還要高。針對後者這問題我們做了個修正實驗。

實驗資料 2-2

我們改變容器位置。實驗完後數據如下：

容器靠近後緣：50cm—53.66 100cm—22.10

容器靠近前緣：50cm—62.44 100cm—20.04

我們猜測是因為在距離近的時後(50cm)，容器恰好產生類似全反射的現象，將光聚集起來，而使強度增大。

實驗資料 3-1

由於認為資料量不夠完整，因此將距離拓展到 400cm，且多標記了在不同距離下何種色光衰退最強最弱，又將多種色光換成以 RGB 做主要討論，資料如下。(特別提及是 40~200cm 與 200~400cm 分成兩次做，故間距不一樣)

	R 的衰退值	G 的衰退值	B 的衰退值
40cm	1	1	1
60cm	0.683445	0.316555	0.74675
80cm	0.488255	0.19519	0.50974
100cm	0.365772	0.122483	0.37581
120cm	0.28915	0.076622	0.294237
140cm	0.232662	0.05649	0.24635
160cm	0.194631	0.038031	0.195617
180cm	0.166107	0.02852	0.17532
200cm	0.146532	0.019575	0.142045
250cm	0.103468	0.04306	0.11039

300cm	<u>0.082215</u>	0.021253	0.08563	<u>0.024756</u>	0.084962	0.02549
350cm	<u>0.063199</u>	0.019016	0.066558	0.01907	0.06712	<u>0.017842</u>
400cm	<u>0.053691</u>	<u>0.009508</u>	<u>0.051948</u>	0.01461	0.05692	0.010195
	0MAX	3MAX	6MAX	7MAX	6MAX	2MAX
	9MIN	4MIN	1MIN	5MIN	1MIN	3MIN

(實驗資料 3-1，無添加)

	R 的衰退值		G 的衰退值		B 的衰退值	
40cm	1		1		1	
60cm	0.75763	<u>0.24237</u>	0.828017	0.171983	<u>0.759036</u>	0.24096
80cm	0.583483	0.17415	0.58946	0.238558	<u>0.60241</u>	<u>0.156627</u>
100cm	0.48654	0.096948	<u>0.481276</u>	0.10818	0.503012	<u>0.099398</u>
120cm	0.411131	0.0754	<u>0.450763</u>	<u>0.030513</u>	0.4247	0.078313
140cm	0.357271	0.05386	<u>0.355062</u>	0.0957	0.39157	<u>0.033133</u>
160cm	0.197487	<u>0.159785</u>	<u>0.217753</u>	0.137309	0.21084	0.18072
180cm	0.147217	0.050269	<u>0.148405</u>	<u>0.069348</u>	0.15964	0.0512
200cm	0.120287	0.02693	<u>0.122053</u>	0.02635	0.12952	<u>0.03012</u>
250cm	<u>0.07615</u>	0.044137	0.079956	<u>0.042097</u>	0.08223	0.04729
300cm	0.05817	<u>0.01798</u>	<u>0.057848</u>	0.022108	0.06189	0.02034
350cm	0.043363	<u>0.014807</u>	<u>0.039425</u>	0.01842	0.04686	0.015031
400cm	0.035431	0.007932	<u>0.032424</u>	<u>0.007001</u>	0.03802	0.00884
	2MAX	2MAX	1MAX	4MAX	9MAX	6MAX
	1MIN	4MIN	9MIN	4MIN	2MIN	4MIN

(實驗資料 3-1，添加水)

	R 的衰退值		G 的衰退值		B 的衰退值	
40cm	-0.057606		-0.1015		<u>0.039082</u>	
60cm	<u>0.020458</u>	-0.0781	0.073913	<u>-0.17537</u>	0.13716	-0.09807
80cm	0.098511	<u>-0.07805</u>	<u>0.095541</u>	-0.0216	0.21053	-0.07337
100cm	<u>0.148318</u>	-0.04981	0.221382	<u>-0.12584</u>	0.24201	-0.0315
120cm	0.183752	-0.03543	<u>0.176552</u>	0.04483	0.28	<u>-0.03799</u>
140cm	<u>0.21875</u>	-0.035	0.299835	<u>-0.12328</u>	0.3007	-0.0207
160cm	<u>0.221264</u>	<u>-0.00251</u>	0.280083	0.01975	0.29237	0.008326
180cm	<u>0.228956</u>	-0.00769	0.247685	0.0324	0.30542	<u>-0.01305</u>
200cm	<u>0.240458</u>	-0.0115	0.26857	<u>-0.02089</u>	0.261364	0.04406
250cm	<u>0.221622</u>	0.018836	<u>0.202206</u>	0.06637	0.28462	<u>-0.02325</u>
300cm	<u>0.251701</u>	-0.03008	0.255924	-0.0537	0.3	<u>-0.01538</u>
350cm	<u>0.274336</u>	-0.0226	0.34756	<u>-0.09164</u>	0.329114	-0.02911
400cm	<u>0.302083</u>	-0.02775	0.3125	0.03506	0.35821	<u>-0.0291</u>
	0MAX	2MAX	3MAX	6MAX	10MAX	3MAX
	9MIN	2MIN	3MIN	5MIN	1MIN	5MIN

(實驗資料 3-1，對比)

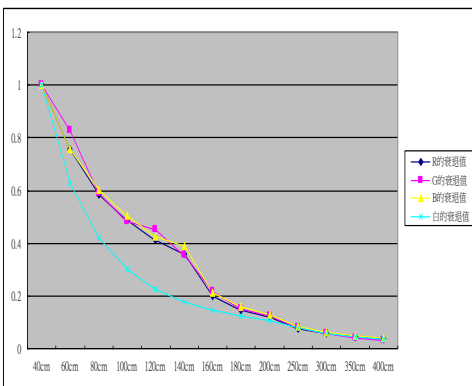
上表左側為原本「」的算式，右側為減掉上一個距離的數值。根據上表整理出以下結論：

- 1.紅在無添加的情況下衰退最少
- 2.綠在加水情況下衰退最少
- 3.藍在加水情況下衰退最多
- 4.紅在加水情況下衰退最少
- 5.藍在加水情況下衰退最多
- 6.根據 4 跟 5 符合雷利散射的公式

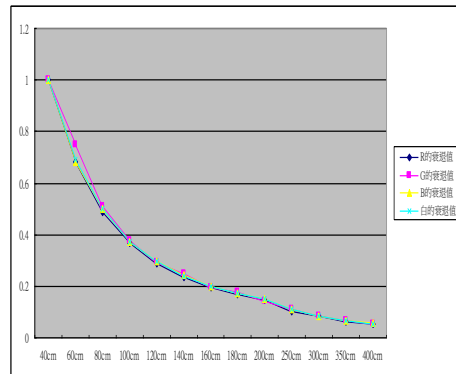
取條件改變時各色光敏感度（出現極端值次數的和）

- 1.在無添加情況下：綠>紅>藍 $12>7>5$
- 2.在加水情況下：藍>綠>紅 $10>8>6$
- 3.在比對情況下：綠>藍>紅 $11>8>2$
- 4.根據 1、2、3 可知綠光為極不穩定的

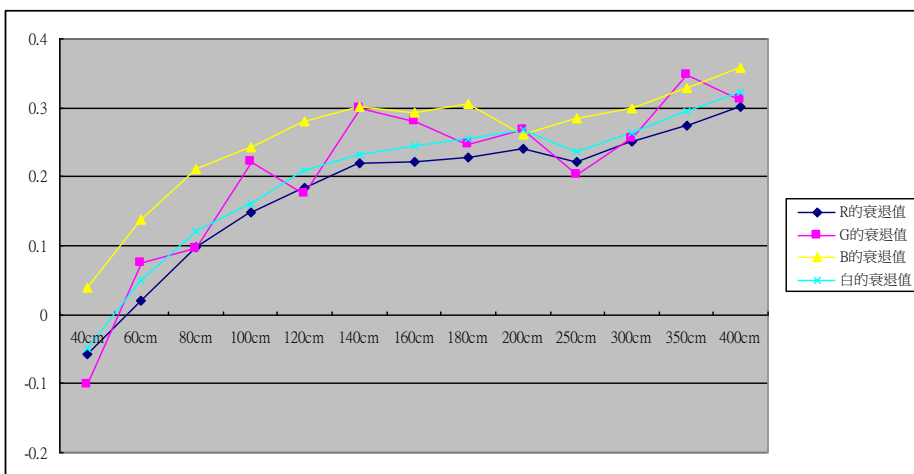
實驗資料 3-2



(實驗資料 3-2，無添加)



(實驗資料 3-2，添加水)

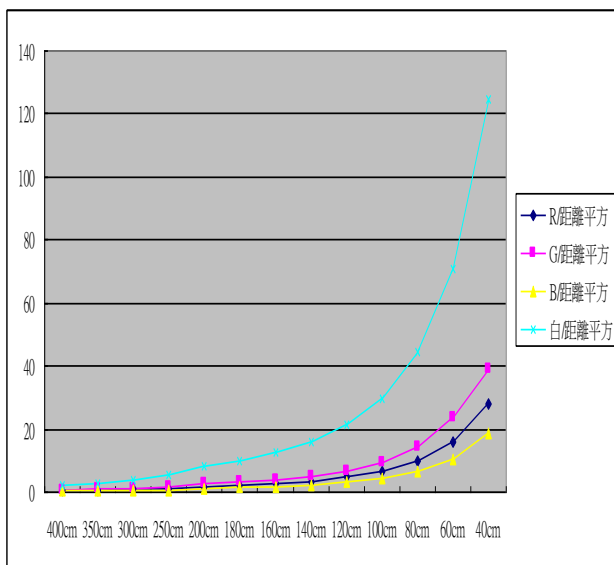


(實驗資料 3-2，對比)

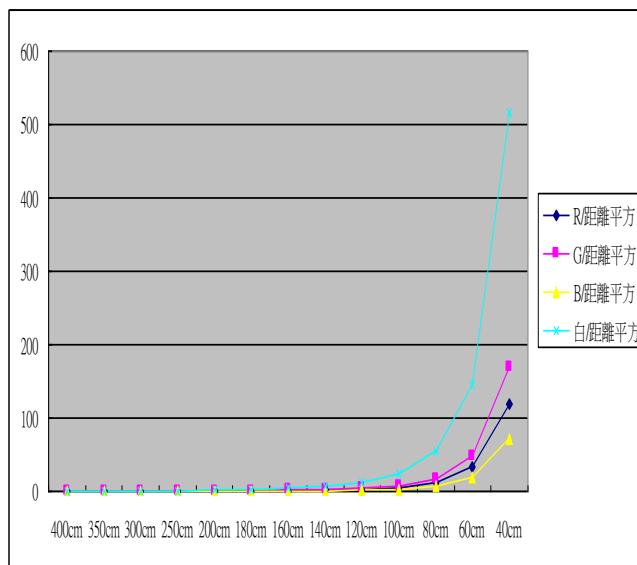
由表看出三色光有相同變化但白光卻有不一樣的變化。若將表二拆開成 40~200cm 和 200~400cm 兩個部分來看，將前者曲線不同的現象定義成**因距離近所以造成不穩定現象**或許能稍做解釋。因表二 200~400cm 所繪製之圖形與之後實驗資料 5 所繪之圖形相像，較有規則性。

另外表三引人注目的 G 之來回折線圖，跟” G 為最不穩定” 的結論相符，猜測 G 不是純色光造成。

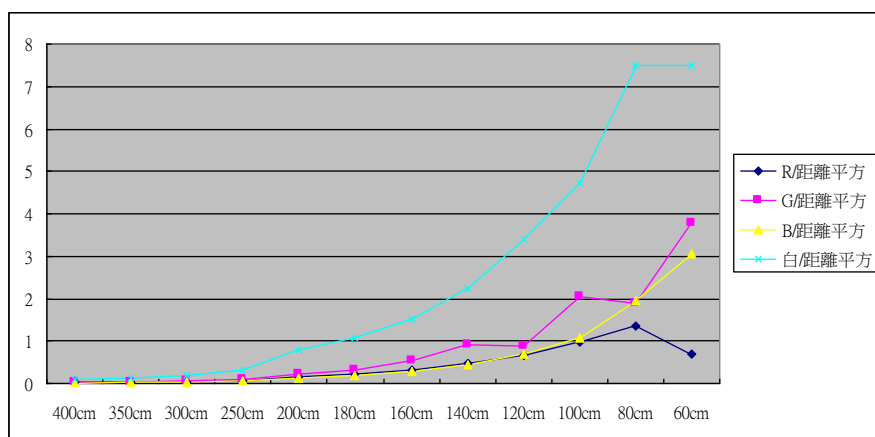
實驗資料 3-3



(實驗資料 3-3，無添加)

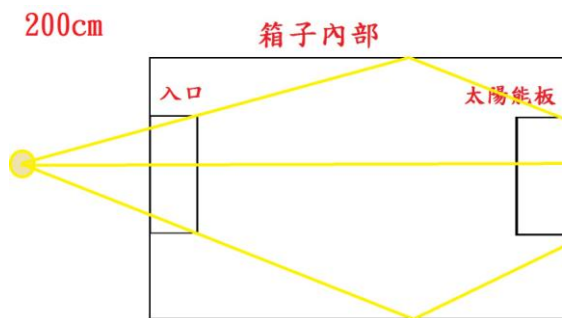


(實驗資料 3-3，添加水)

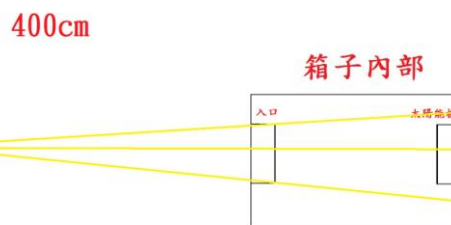


(實驗資料 3-3，對比)

此三表是新的公式，即 $X/\text{距離平方}$ ，用以表示在不同距離下各色光的強度(視光源為點光源)。由表可看出，我們所想做出的平行光沒有成功做出，若是平行光則不會受距離影響。我們有兩種看法：1.箱子裡放置的黑布吸收有限。2.入射口與接收的太陽能板大小固定不會隨距離改變大小。根據此兩種看法繪成的圖如下：



(實驗資料 3-3，200cm 示意圖)

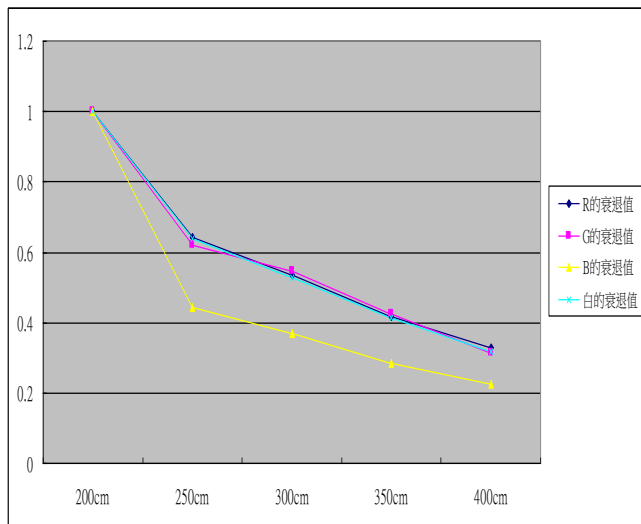


(實驗資料 3-3，400cm 示意圖)

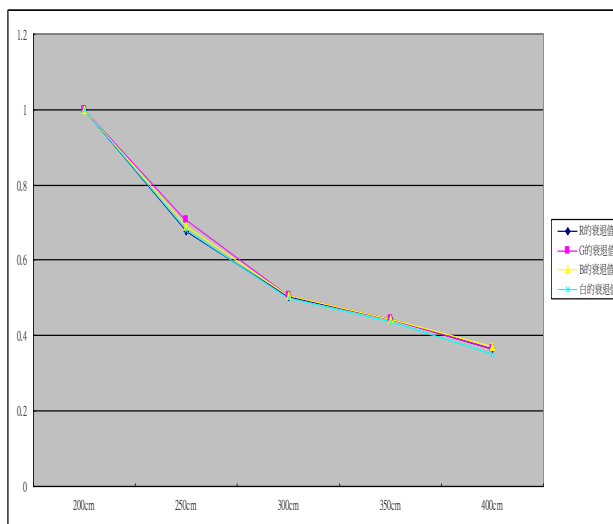
可由這兩張簡單的示意圖看到較近的狀態下比較遠接收到較多的光線。(一般自然現象中不會有此限制)另外，根據表三 140cm~60cn 不穩定性，可以印證猜測：「因距離近所以造成不穩定現象」。

實驗資料 4-1

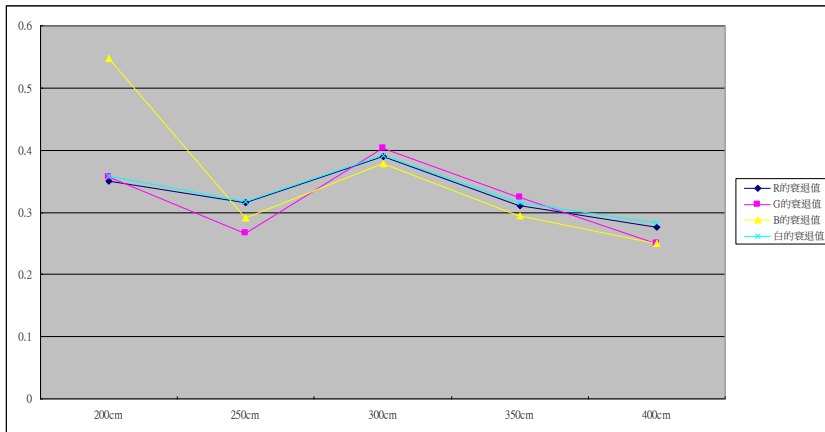
基於認為無法立即修正實驗資料 3 出現的現象，我們決定先做其他實驗。以下實驗與前面相同，但介質換成了粉筆灰(定量)。特別注意到當容器的量筒，在”無添加時”已在箱子內。



(實驗資料 4-1，無添加)



(實驗資料 4-1，添加粉筆灰)



(實驗資料 4-1，對比)

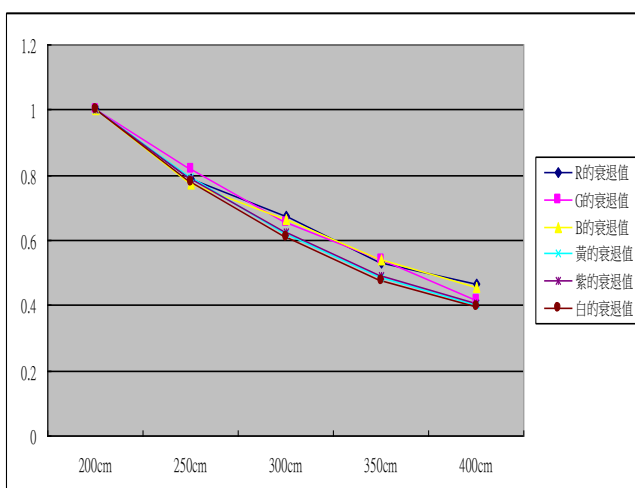
由上表可看出有趣的現象：無添加顯現了添加粉筆灰時該有的特性，而添加粉筆灰有無添加的特性。對這現象的解釋為：

- 1.無添加時光線經過容器，由於折射率不同，使藍光無法全照射在太陽能板上。
- 2.添加粉筆灰時，粒子體積太大而無法造成正常的散射現象，而是出現常聽到折射、反射、折射等現象，像霾害。當粒子濃度高過某臨界值，而會形成伸手不見五指的情況。
- 3.至於第二表格為何一致？我認為這就好比用了許多版子把光線路徑給擋住，當你能通過的路徑限制時，能進去的光源自然就固定，不論是何種色光。

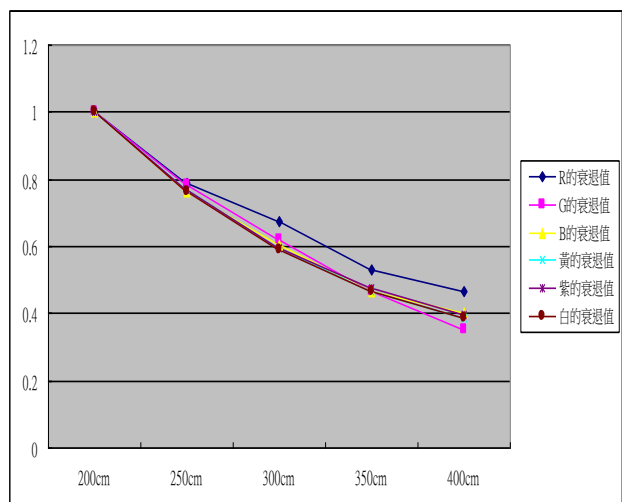
綜合以上，我們沒能做出原先預期，卻做出了其他現象，可說是因禍而福。

實驗資料 5-1

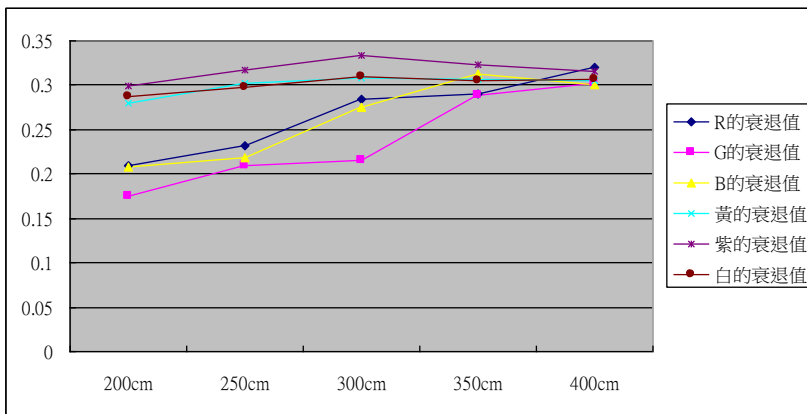
為了尋求實驗資料 3-2 的猜測 G 不是純色光而有曲線變化與的猜測是否正確，我們把其他色光再拿回來實驗，同時集中做 200cm~400cm 的實驗。



(實驗資料 5-1，無添加)



(實驗資料 5-1，添加水)



(實驗資料 5-1，對比)

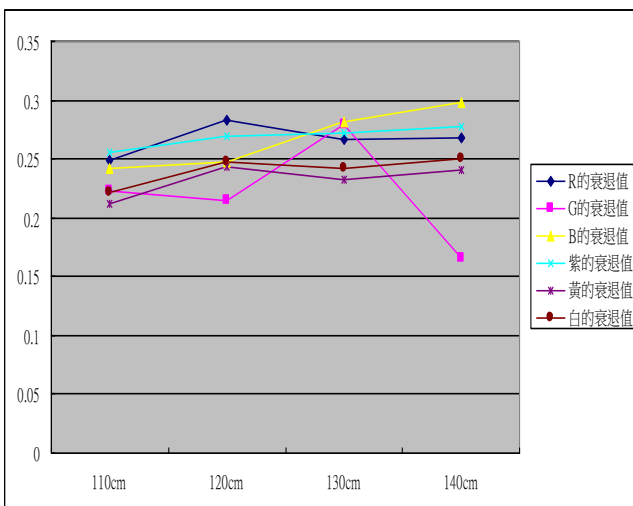
表一，可看出混色光有較近的特性。但觀察可發現距離變大 G 有加入混色光的趨勢。讓我不禁猜想這些趨勢線的方向取決由光的初始強度而定，意即若再把距離拉長，純色光也會加入規則(所測得數值為：混>G>R>B。)

表二，可看出 R 在不同介質下散射程度較弱，此點符合部分雷利散射之定義。

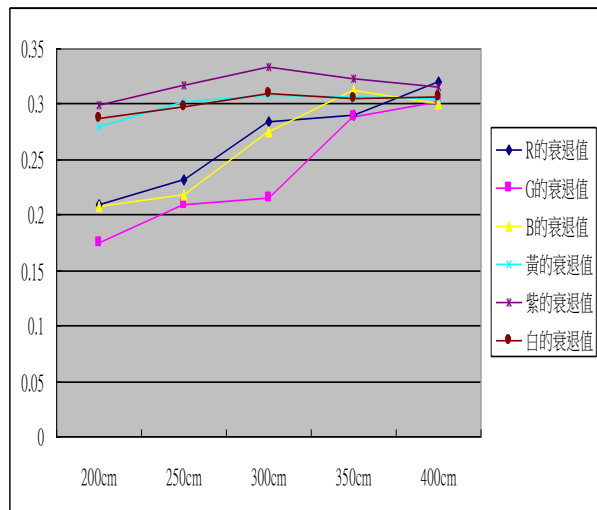
表三，原想說明實驗資料 3-2G 的曲線狀況，卻發現得到的表跟預期差異很大。卻由此發現 G 還是接近純色光。

B 綜合實驗討論

實驗資料 1-2，對比+實驗資料 5-1，對比



(實驗資料 1-2，對比)



(實驗資料 5-1，對比)

嘗試比較這兩張圖表，發現了儘管距離範圍不一樣，B 所畫出的圖形卻是非常像的。我所要提出的論點是：因為光波特性的，所以相較於其他色光，B 率先有著較穩定的線性變化。或許，將距離拉長，其他色光也會有接近藍光的線性特色。

假設做到這裡，此時腦中卻又浮現另一個疑惑，那波長更短、強度更弱的紫光，不是應也要像藍光一樣有著相同的特性嗎?對於此一疑惑，在後面會再提出討論。

四、戶外實驗

除了與一、前測實驗有著相同的變數外，我們還把測站範圍擴大，最遠到彰化。不過礙於：

- (一) 實驗數據太少
- (二) 無法精準控制拍照時間(天氣狀況不穩，當日的特定時段無法控制)
- (三) 對太陽能板的掌控沒有很完善

結果如上述所提，參考成份較多。整理過後如下圖：

	A	B	R	C	G	D	B	E	紫	F	黃	G	H
1													
2	5月28日												
3	07:55	0.37											
4	12:37	1.5											
5	15:13	19.16		11.61		9.24		6.77		9			
6	17:32	5.14		3.46		3.01		2.79		3.05		1.93	
7		2.63											
8	5月29日												
9	12:43	4.7		3		2.8		2.6		3.6		4.3	
10		5.1											
11	12:45	6.1		4.3		3.3		3.1		4.1		4.6	
12		5.9											
13	5月30日												
14	08:17	6.7		4.8		4.4		3.7		4.4		5.3	
15	10:07	8.3		8.4		8		8.8		8.8		8.8	
16				6		5		5.5		6.2		7	
17	6月2日												
18	08:51			26.3		24.8		24.5		24.3		24.1	
19				14.7		13.6		11.7		15.2		17.9	
20	09:57	25.1		31.5		31.4		30.2		28.6		22	
21				18.3		18.5		17.3		20.2		18	
22	11:40	85		86		91.6		100		97		91	
23				47		46		44.4		54		61	
24	6月4日												
25	12:37	0.88		0.82		0.82		0.83		0.83		0.86	
26				0.55		0.51		0.45		0.57		0.72	
27	14:15	0.8		0.79		0.78		0.79		0.79		0.79	
28				0.55		0.5		0.46		0.56		0.66	
29	15:12	0.8		0.7		0.7		0.7		0.74		0.84	
30				0.5		0.48		0.44		0.64		0.7	
31	16:17	0.39		0.39		0.33		0.36		0.39		0.39	
32				0.26		0.22		0.23		0.29		0.34	

(圖 D-4，太陽能板數據)

如圖，紅色部分為雲層極厚分不出哪裡是太陽方向，也就是把觀測器指向哪數據出來都差不多的情況。

黃色部分為仍有雲系會干擾。雖然後來決定在測不同色光前再多測一次白光，確定穩定，但仍會因太陽能板上數據一直不斷變動，很難去記錄。

綠色部分為加裝遮光板。此方法有利記錄，方便人為判讀。

很驚人的，雖然數據量很小，但整理後能看出一些現象。如下：

氣象局	溫度	R	G	B	P	Y	取0.75以上
沙鹿	溫度	0.310468	-0.62788	-0.7655	-0.37436	-0.8149	2
	二硫化硫(ppb)	-0.8051	0.059157	0.306819	-0.21506	0.90371	2
	一氧化碳(ppm)	-0.28801	0.543309	0.81726	0.139136	0.89647	2
	臭氧(ppb)	-0.19074	0.717939	0.895	0.397898	0.83622	2
	懸浮微粒(ug/m3)	0.364964	-0.33735	-0.32946	-0.30709	-0.48666	0
	二氮化氮(ppb)	0.282146	0.95901	0.98492	0.76247	0.489539	2
	二氮化氮(ppb)	-0.2108	0.644849	0.88012	0.267615	0.86681	2
大里	二氮化氮(ppb)	-0.48301	-0.7577	-0.834	-0.52523	-0.26358	2
	一氧化碳(ppm)	-0.8673	-0.27715	0.09442	-0.64327	0.85794	2
	臭氧(ppb)	0.327431	-0.51933	-0.7992	-0.11348	-0.915	2
	懸浮微粒(ug/m3)	-0.19827	-0.05763	0.241928	-0.39942	0.445912	0
	二氮化氮(ppb)	-0.8113	0.055395	0.353609	-0.27854	0.96349	2
志明	二氮化氮(ppb)	0.180533	0.91987	0.9254	0.7581	0.512239	3
	一氧化碳(ppm)	0.533113	0.95023	0.7968	0.96002	0.097511	3
	臭氧(ppb)	0.125579	-0.7504	-0.9265	-0.4236	-0.8107	3
	懸浮微粒(ug/m3)	0.091236	0.88967	0.96169	0.656642	0.631757	2
	二氮化氮(ppb)	0.361109	0.9504	0.99356	0.731441	0.44654	2
南屯	二氮化氮(ppb)	0.180533	0.919866	0.925401	0.7581	0.512239	1
	一氧化碳(ppm)	-0.60391	0.304796	0.611375	-0.08754	0.99625	1
	臭氧(ppb)	0.582972	0.582972	0.582972	0.582972	0.582972	0
	懸浮微粒(ug/m3)	0.207906	0.307942	0.03897	0.572437	-0.2448	0
	二氮化氮(ppb)	#DIV/0!					0
彰化	二氮化氮(ppb)	-0.60391	0.304796	0.611375	-0.08754	0.99625	1
	一氧化碳(ppm)	-0.3744	0.537748	0.79756	0.154853	0.93857	2
	臭氧(ppb)	-0.56851	0.352915	0.647867	-0.03464	0.99072	1
	懸浮微粒(ug/m3)	-0.53438	0.205749	0.557691	-0.22778	0.92973	1
	二氮化氮(ppb)	-0.60391	0.304796	0.611375	-0.08754	0.996246	0
			3	7	13	4	14

(圖 D-5，相關係數)

選擇將超過 0.75 的資料標為粗體，統計各行各列把最多的標記起來，如圖 D-5。

你可以看到我們在學校測的數據(大里)卻不是最敏感的測站，反而是位在西北端的忠明。而觀看了當天的風向(西~西南)與風速(1~3.9m/s)後，發現小論文所提出的推論是可行的。

陸、討論

一、前測實驗

若時間允許，希望能把這部分做的完整。但受限於生活作息與天氣狀況的不穩定不能實現這樣的目標。若未來要持續把這方面資料補齊，除了固定變因，也可以**集中做極端事件發生時的改變**，如：颱風天前後、地震前後。

二、以照片用測出 RGB 數值為主的實驗

需要降低人為判讀部分。同時，需要能夠可以完整表達的程式去協助實驗。若能找到更好的方法固定三稜鏡及光碟片，還有蠻大的探討空間。

三、以三用電表、小太陽能板測出數據為主的實驗

此部分大綱都在上章節提過，再此重述結果：

- (一) 綠光在這實驗中非常不穩定
- (二) 有成功證明雷利散射
- (三) 近距離下的實驗較不穩定
- (四) 混色光有較接近的特性

另外還有些猜測，如：「B 率先有著較穩定的線性變化。或許，將距離拉長，其他色光也會有接近藍光的線性特色。」

四、延伸討論

此部分為尚可探討的部分。

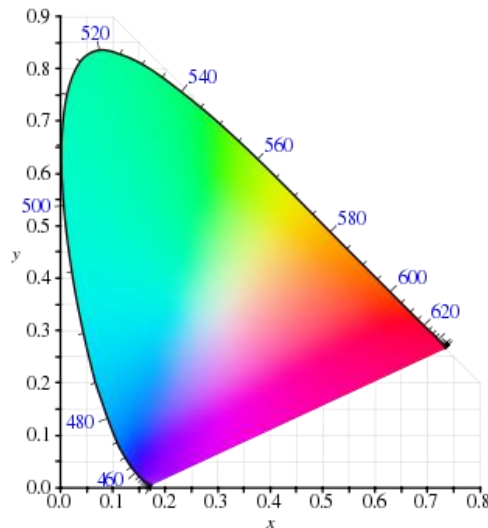
- (一) 大氣系統的感受度

自然界的每個系統的機制都不一樣，如同每種物質的比熱不一。況且它是由很多不同機制去共同呈現，在變數因子極多的前提下，實在不應該斷定某種因子能夠絕對影響某種現象的出現。

(二) 白光定義

所謂白光，不過是人眼在光強度超過一臨界值以後不能分辨其顏色不同而顯現出的色光。書上也有提到假設你用不同的色光組合而讓人眼觀看到，所看到的依舊是白光。

現在我把實驗資料 5-1 的疑惑拿出來討論。我的結論是：**紫光非紫色**。或者應該說，我們用色彩疊加所得的結果看起來像紫色，否則紫在色彩學上是利用紅+藍而成，但在光譜學上介於紅和藍的光為**綠光**而非**紫光**。



(圖 D-1，色度圖)

『此圖為 W. David Wright (Wright 1928) 和 John Guild (Guild 1931) 做的一系列實驗中得出的。他們的實驗結果合併到了 CIE RGB 色彩空間的規定中，CIE XYZ 色彩空間再從它得出。』(取自維基百科—CIE1931 色彩空間)簡言之他們用 RGB 系統去編排出人眼對光的敏感帶而做了此圖。反過來說，紫光非紫色這猜測是可行的。

(三) 不能繼續散射的原因為何

上述提過：當體積過大時，散射現象將會被反射、折射、繞射等現象所取代，那究竟它們的臨界質為多少？我想這一部分還是得靠實驗去證實。

另外是否不同介質間會因為他們的結構不同而對散射現象造成不同的影響？若能完整做出，那麼我相信能把自製量表給設計完全。

(四) 儀器本身

我們所使用儀器，我們無從確定它的穩定性。例如當綠光出現不穩定時我也曾懷疑是否為太陽能板的因素。又如不論是光源的燈泡或者是接收器的太陽能板，都有機會因為升溫而影響。還有光源是交流電，發光沒有很穩定。

(五) 太陽入射與折射

如同我們所知月全蝕時因為大氣層的折射，讓月亮看起來是紅色的。那麼現在問題就是，到底在大氣層中折射與散射的影響比例是多少？

此部分影響到我最後結論想畫的量表，如果是折射偏重的話，那為何當藍天變換成橘黃的夕陽時，不會出現天空是綠光的狀況呢？

柒、結論

一、實驗部分檢討

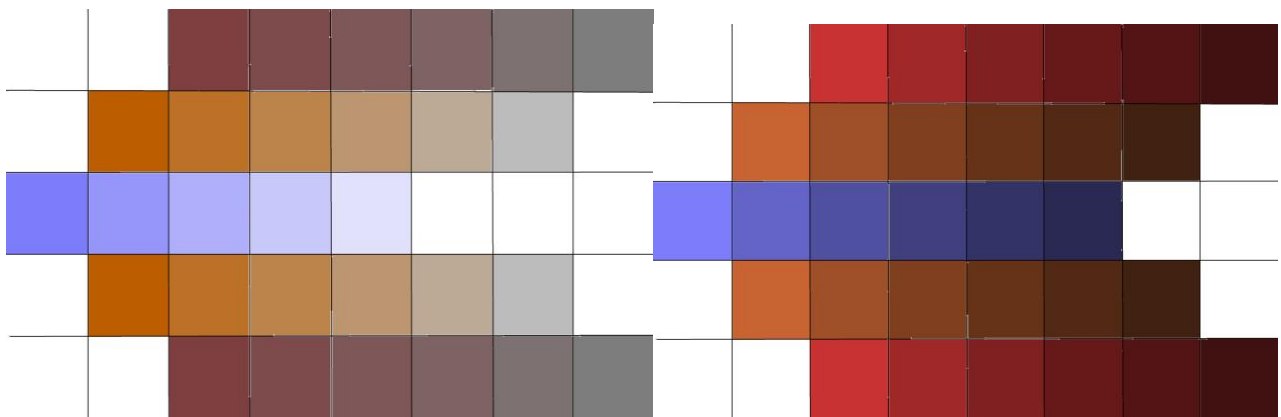
我們嘗試用了簡易的實驗去重新驗證雷利散射及其它散射的存在，而我們有成功做到！但因變因太多，沒有操控完全造成誤差值過大。

我們希望若能繼續實驗，要提高精準度勢必得修正實驗。而以下是我所提出的修正：

- (一) 光源改用可主動更換瓦數的燈泡，用以模擬移動距離時所造成的光的衰退(需計算)
- (二) 加大太陽能板或確認其穩定性。
- (三) 相同實驗反覆動作取其平均值。

二、自製量表

以下是原先所設計的四面體量表(量表大多為自己假設)：



(自製量表-1, 一般粒子)

(自製量表-1, 理想粒子)

X 方向為在固定一般粒子與理想粒子的比例下，粒子的濃度。Y 方向為時間。Z 方向為一般粒子與理想粒子的比例。(理想粒子間彼此沒有吸引力，不會結成塊狀固能無限散射)。而我假設在同一時間下，只有特定的顏色會進行散射，其餘色光已經被散射過多小到人眼無法感光。

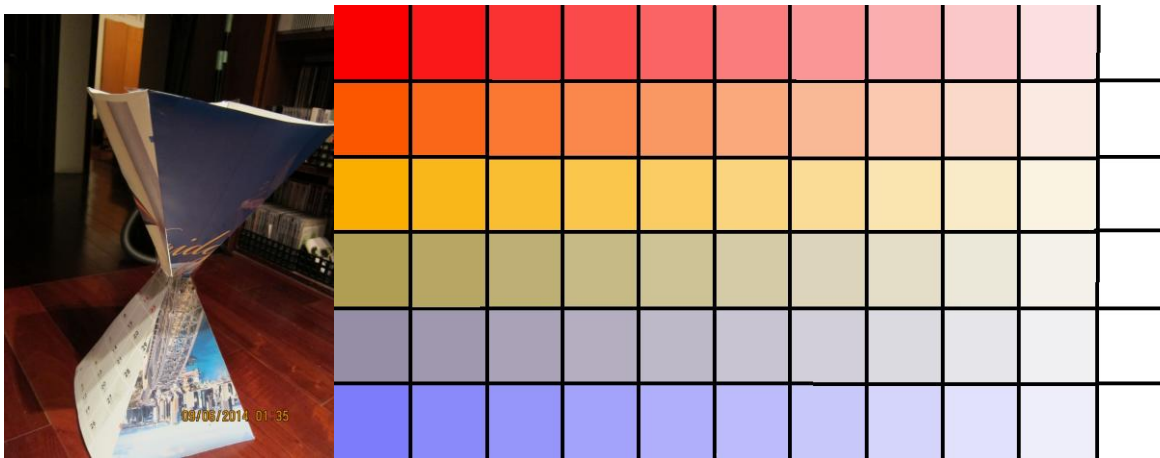
最終反覆進行實驗建立龐大資料庫後，將來如果要藉由單看顏色來判斷今日整天空氣品

質或是空氣中物質的組成有哪些，只要給至少兩個點去設定路徑便能推測出來。

要完成此表首先得把所有色光測出來再進行加減，當然不能像我假設的忽略其他色光。另外，關於理想粒子也需要反覆實驗才能進行分類，畢竟每種光的波長不一樣，散射程度自然不同。還要考慮人眼對各種色光的感光敏感度不一的特性。

至於為何是正四面體，因為在我想像中完成後的圖表會是個立體的四面體，而每天測量都是從正上方拿個刀子往下切出路徑的感覺。但經過反覆思考後，發現四面體的幾何性似乎不能完整表達各參數的比例變化。因此變行後結果有兩個想法，一是把它改成長方體，另一為長方體的再變行，像沙漏狀。

原先想利用四面體最上端(意即清晨)時大家的變化都從一條線開始，有點像把光線行進方向變成是”累加”的概念，但後來思索，決定將它攤平，變成長方體。而沙漏狀，則是將長方體相同色塊的部分壓縮，中午之時大多沒有太大的顏色變化所以會變細。

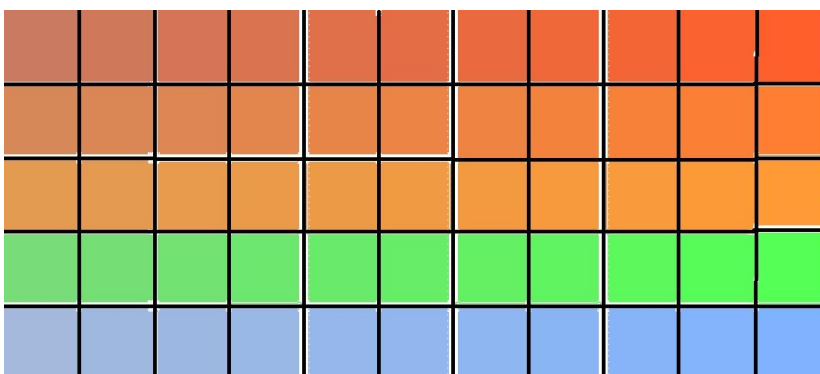


(沙漏型量表立體化)

(自製量表-2，一般粒子，未調整光強弱)

接著是延伸討論有關折射的議題。照著等比例縮放完成自製量表-2，會有偏綠的色光出現。於是開始尋找用 RGB 以外的電腦表示方式，結果發現了 HSB 顯示法。

所謂 HSB，是比較接近人眼的色光表示法，HSB 分別為色相、飽和度、亮度。我發現此表示法與我的想法不謀而合，色相=時間；飽和度=濃度；亮度=比例。於是我畫了以下此圖，卻發現果然不能直接忽略其他色光。(RGB 表示法比較接近色光源理，HSB 針對單一顏色的深淺較為在行)

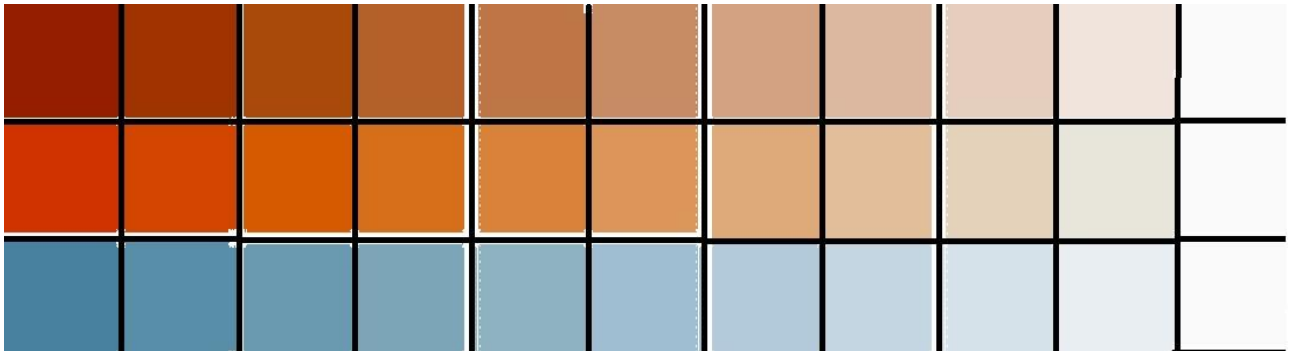


(自製量表-3，HSB 作圖)

畫完此圖後，我思索了一下，認為還是使用 RGB 作圖比較符合我的自製量表。轉念一想，卻發現 HSB 作圖卻恰好可以完成 Z 方向的深度。(調整明暗如粒子間比例的調整)也就是說用

RGB 繪成平面，用 HSB 繪成深度。(自製量表-1 的兩圖分別為頭與尾，自製量表-3 為深度的意思)

另外，因為量表最後始終得回歸於觀察，所做的實驗有如數位相機所做，還是得轉成圖片人類才能使用。所以我選擇用整個科展所拍過的照片進行整理，繪成了這些量表中唯一一個靠著參考數據所畫出的一條小色帶。



(自製量表-4，用相片資料平均後繪出)

總結：雖然此表要完成需要耗費大量時間及技術，但若真的完成，不僅可以立即知道當地這幾天的天氣狀況，甚至能去推論附近發生了什麼事，乃至於去推論可能即將發生的災害而加以預防，無疑會是個極為有幫助的一項研究，希望在有生之年能夠自己或是由他人繪製出來！

捌、參考資料及其他

維基百科，色度圖：

<http://zh.wikipedia.org/wiki/CIE1931%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4>

維基百科，102年9月8日取自，

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%91%9E%E5%88%A9%E6%95%A3%E5%B0%84>

《光的故事》 作者：何志堅 出版社：中山文庫，P.153~P.160

《觀念地球科學Ⅲ》 作者:呂特根、塔不克、塔沙 譯者:黃靜雅、蔡菁芳 出版社:天下文化 第11章:加熱大氣

《大氣科學》 作者:戚啟勳 出版社:大中國圖書館有限股份公司

行政院環境保護署空氣品質監測網，102年3月22日~103年8月7日取自，

<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/PollutantMap.aspx?area=4&h=0>

.交通部中央氣象局觀測，102年3月22日~103年8月7日取自，

<http://www.cwb.gov.tw/V7/observe/real/46749.htm>

交通部中央氣象橘天文，102年3月22日~103年8月7日取自，

http://www.cwb.gov.tw/V7/astronomy/sunrise/Taichung_201308.htm

NOAA ESRL Solar Position Calculator，102年9月8日取自，

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html>

The Earth，103年6月1日取自，

<http://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/orthographic=-240.08,22.46,3000>

淺談色彩學：人性化的 HSB 色彩空間，103年6月9日取自，

<http://dclick.fourdesire.com/2013/01/04/color-hsb/>

【評語】 040504

利用拍攝夕陽的數位照片，探討散射及空氣污染現象。研究熱忱高，但研究的科學議題不夠明確，背景知識以及相關原理之了解需要加強。但自行設計實驗、研發檢核表，具良好的科學精神與態度，值得肯定。