中華民國第四十七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

040812

數位攝譜儀及其數位分析方法

學校名稱：國立大里高級中學

作者：	指導老師：
高二 林育瑞	黃詩翔
高二 劉東霖	張啟中
高一 賴偉源	
高一 賴俊名	

關鍵詞：攝譜儀　發光二極體　數位影像

數位攝譜儀及其數位分析方法　　11/27/2006

一、摘要

「數位攝譜儀」是利用光柵分光，使用數位相機拍攝光譜。「數位光譜分析法」是電腦軟體程式，可將拍攝到光譜數位影像放大成「馬賽克」，作爲光譜的最小「色塊」，並將每個色塊轉換成一組七維的顏色座標[λ(波長)，*R*(紅)，*G*(綠)，*B*(藍)，H(色相)，S(彩度)，B(明度)]分析光譜，可精確測量各種未知光源放射出的光波波長、鑑定原子光譜，且操作方便，無須使用電路設計，其中：

1. λ 座標係由光譜線的位置(*x*,*y*)轉換而來。
2. R、G、B 座標則記錄對應的紅、綠、藍色成分強度
3. H(色相)爲紅、黃、藍分佈於 360°色環，表示「色彩相貌」，是顏色的特徵。
4. S(彩度)爲色彩中灰色的含量，灰色含量越低，彩度值越高，色彩會越飽和。
5. B(明度)爲色彩的明亮程度，數值越高接近白色，數值越低接近黑色。

我們完成以下實驗：

1. 測量氫、汞及鈉原子的原子光譜，建立「數位光譜資料庫」。
2. 鑑別波長 589.0、589.6 奈米的鈉雙線。
3. 比較數位相機影像與光學相機正片的色彩顯影。
4. 鑑定太陽光譜中的吸收光譜(Fraunhofer Lines)。
5. 分析獵戶座α 、β 的可見光光譜。
6. 用顏色座標(λ ,*R*,*G*,*B*)測量發光二極體的波長範圍。
7. 比較 He-Ne 雷射與雷射光筆放光的波長範圍，發現雷射光筆之光並非單頻。
8. 使用光感應器測量 LED 於不同距離的照度，發現約與距離平方成反比。

二、研究動機：

高中光學用三稜鏡或光柵分光，用肉眼判讀每條光譜對應特定波長，不但誤差很大，很難客觀描述光譜顏色。大學用單光儀 monochromatic 測量光譜線的波長，但單光儀近百萬元，無法攜帶。

天文攝影常使用紅、藍、綠 3 種濾鏡，利用電腦影像疊合得到彩色的星雲照片，提供我們將「光譜影像數位化」的靈感。把分光儀結合數位相機、腳架，改良設計爲「數位攝譜儀」，可靈活拍攝各種光源的光譜，分析對應的波長、顏色。

市售 LED 封裝成各種形狀，其顏色、發光強度很難品質保證。「數位攝譜儀」直接拍攝 LED 連續光譜，用影像軟體求出波長範圍，用(R,G,B)分析顏色，比產業界公佈的特性曲線精準，可作爲品管分析。

Pic.01: 「數位攝譜儀」裝置圖

三、理論與實驗印證

[實驗 1]：He-Ne 雷射（波長λ ＝632.8nm），垂直入射 600 條/㎜光柵[2]，測量繞射角α 。

<原理>假設狹縫寬爲 d，光柵與像屏距離 r，中央亮點與第一亮點距離 x：

$$\begin{cases} \text{由圖形}: \tan\alpha = \dfrac{x}{r} \cong 0.41 \quad \therefore \alpha \cong 22.3^\circ \\ \text{繞射公式}: d \cdot \sin\alpha = \lambda \quad \therefore \dfrac{10^{-3}}{600} \times \sin 22.3^\circ \cong 6.322 \times 10^{-7} m = 632.2nm \cong \lambda \end{cases}$$

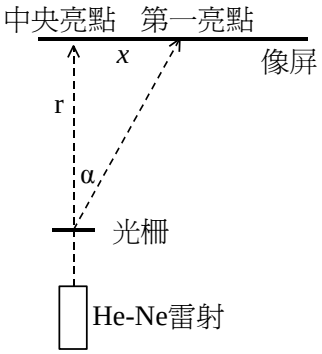


Fig.1 測量光柵的繞射角α

[實驗 2]：汞、鈉、氫燈**斜向入射** 600 條/㎜光柵，同時拍攝汞、鈉、氫原子光譜（Fig.2）。將汞、鈉、氫燈垂直排列，光源從狹縫射出，測量照度分別爲 2.6、2.6、1.8 勒克司。相機距離光源 D＝380 ㎝，鏡頭貼上 600 條/㎜光柵，相機旋轉角度 $\theta \cong 15°$，拍攝從紅光~藍光光譜。

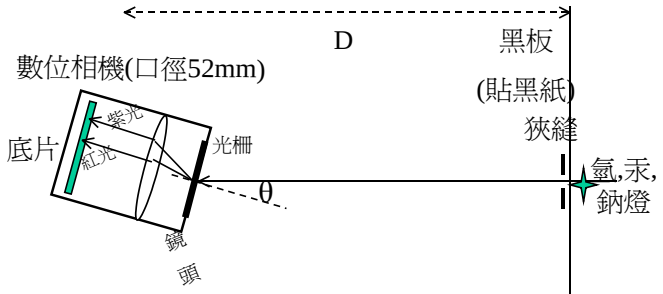


Fig.2:光源以θ斜向入射光柵,用相機拍攝光譜

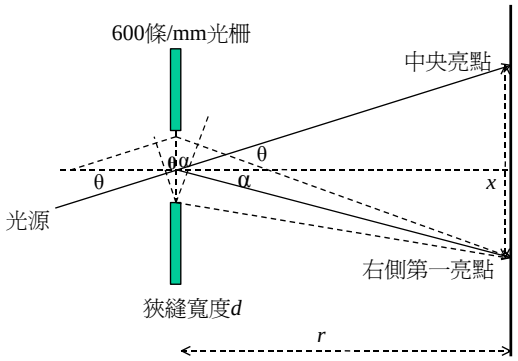


Fig.3:測量中央亮點與右側第一亮點的距離x_i

<原理>[4,5]（Fig.3）

1. 同時拍攝不同光源的光譜，有相同的偏向角θ ，光柵與底片的等效距離 r 相同。
2. 已知光譜波長λ_i代入下式，計算對應的繞射角α_i，由拍攝光譜照片測量光譜線與中央亮點距離 x_i。

$$\begin{cases} \dfrac{d}{\cos\theta}(\sin\alpha_i + \sin\theta) = \lambda_i \quad ....(1) \\ x_i = (\tan\alpha_i + \tan\theta)\cdot r \quad .....(2) \end{cases} \qquad \text{其中} i = 1,2,3,....$$

3. 相機視野從紅光~藍光， $410.2 \le \lambda \le 656.3\,nm$ ，代入(1)式，則繞射角

$$-7.6° \le \alpha \le 6.6° \quad \therefore 0.98 \le \cos^3\alpha \le 1$$

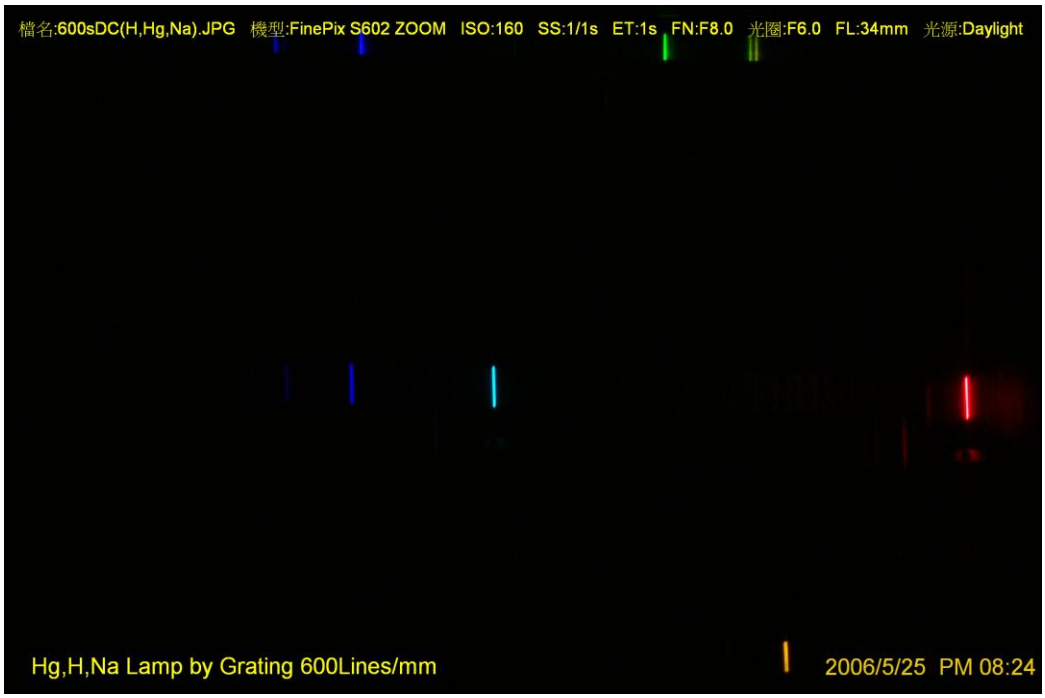
4. 微分(1)： $\dfrac{\Delta\lambda}{\Delta\alpha} = \dfrac{d\cdot\cos\alpha}{\cos\theta}$ ，微分(2)： $\Delta x = r\cdot\sec^2\alpha\cdot\Delta\alpha$ 則

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta x} \cong \frac{\Delta\lambda}{r\cdot\sec^2\alpha\cdot\Delta\alpha} = \frac{d\cdot\cos^3\alpha}{r\cdot\cos\theta} = \text{定值}\cdot\cos^3\alpha \cong \text{定值}$$ （測量誤差 2%以內）

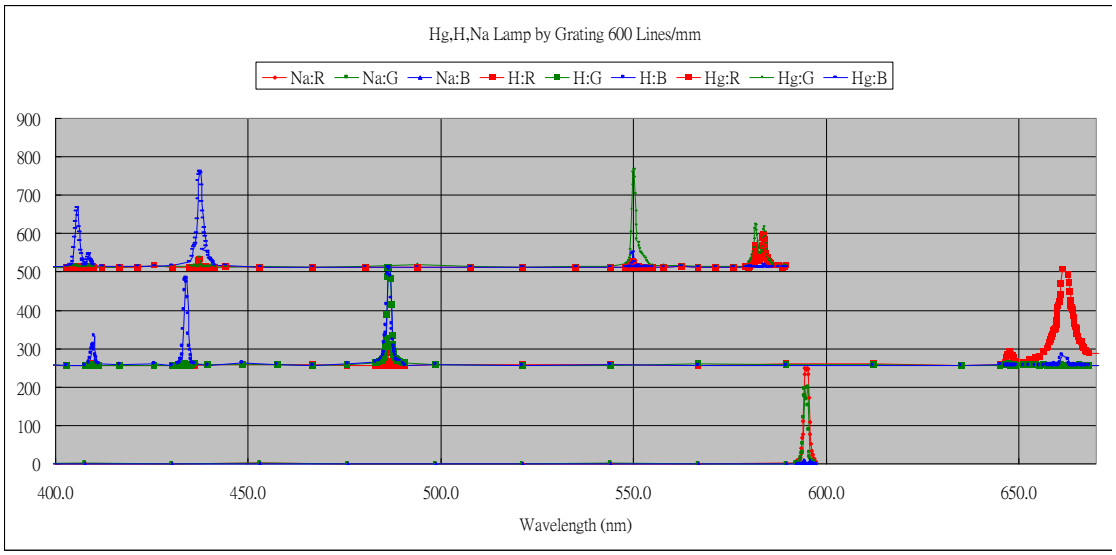
其中：相鄰兩條光譜線波長差Δλ ，繞射角的夾角Δα ，成像在照片的位置Δx。

∴只要已知 3 條光譜線的波長λ 與位置 x，可由相對位置計算未知光譜波長。

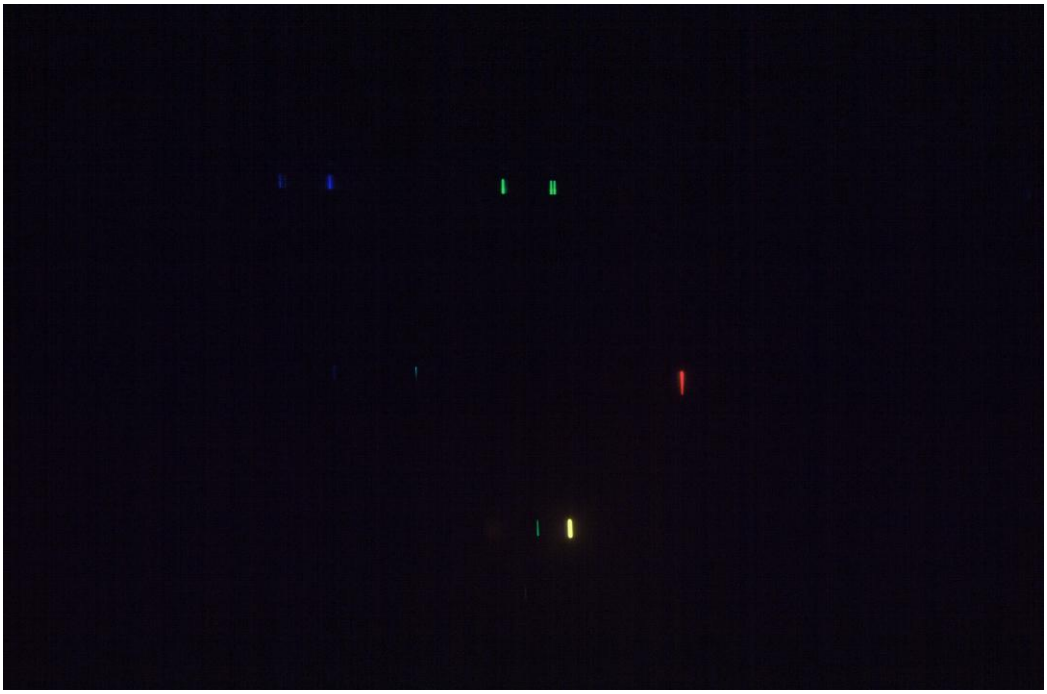
Pic.02：Fuji S602 數位相機與 600 條/㎜柵拍攝汞燈、氫燈、鈉燈光譜(由上而下)



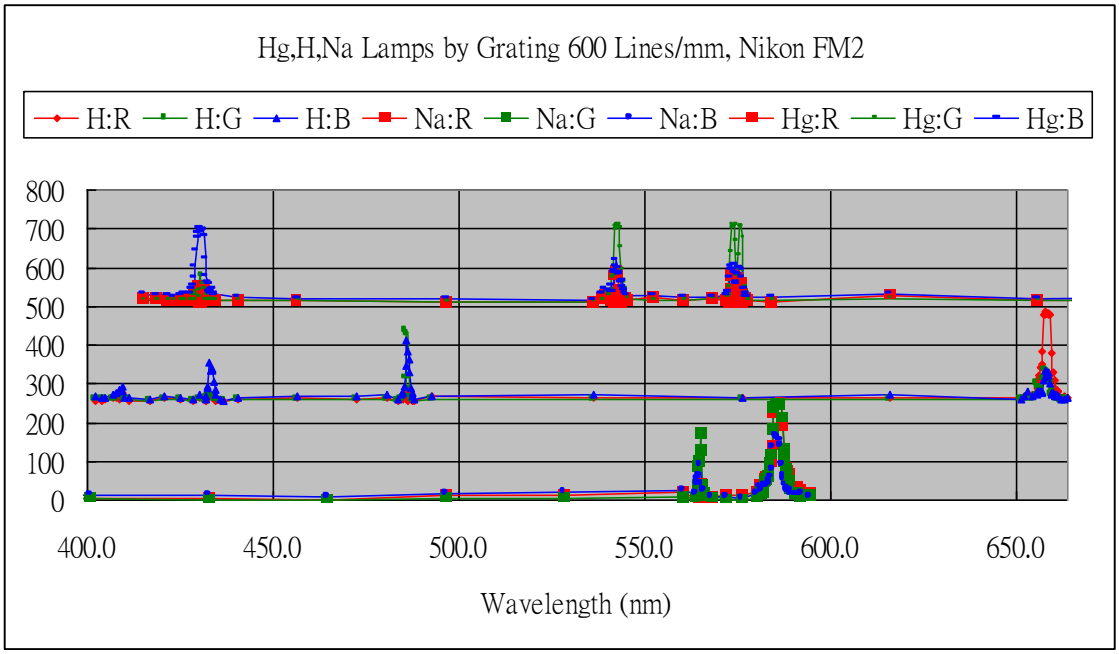
Pic.03：Fuji S602 數位相機拍攝汞、氫、鈉原子數位光譜座標



Pic.04：Nikon FM2 相機（100 度正片）與 600 條/㎜光柵拍攝汞燈、氫燈、鈉燈光譜



Pic.05：Nikon FM2 相機（100 度正片）拍攝汞燈、氫燈、鈉燈數位光譜座標



Tab.01：Fuji S602 數位相機與 600 條/㎜光柵拍攝鈉、氫、汞原子的顏色座標(R,G,B)

「數位光譜資料庫 A」。【光圈：6，快門：1s，感光度：160，焦距：34 ㎜，入射角：15°】

光源	顏色	紅	紅	黃	黃	綠	綠	藍	藍
H 已知	位置 x(格)	72.77(?)				37.3		23.55	20.55
	(R, G, B)	(36,2,0)				(8,255,255)		(0,2,107)	(3,1,78)
	λ (nm 理論)	656.3				486.1		434.3	410.2
	$\Delta\lambda / \Delta x$					4.58		4.51	
Hg 未知	位置 x (格)	未顯影		58.72	58.23	51.31		26.59	19.61
	(R, G, B)			(84,104,7)	(58,112,0)	(0,255,15)		(2,8,250)	(1,2,154)
	λ (nm 實驗)			583.7	581.5	550.0		437.6	405.8
	λ (nm 理論)	690.8	656.3	579.1	577.0	546.1		435.8	407.8
	誤差%			0.8	0.8	0.7		0.4	0.5
Na 未知	位置 x(格)	未顯影		61.08		未顯影	未顯影		
	(R, G, B)			(250,196,0)					
	λ (nm 實驗)			594.5					
	λ (nm 理論)	617.5		589.3（平均）		568.8	497.8		
	誤差%			0.9					

Tab.02：Nikon FM2 相機(100 度正片)與 600 條/㎜光柵拍攝鈉、氫、汞原子的顏色座標(R,G,B)

「數位光譜資料庫 A」。【光圈：8，快門：4s，感光度：100，焦距：85 ㎜，入射角：15°】

光源	顏色	紅	紅	黃	黃	綠	綠	藍	藍
H 已知	位置 x(格)	39.99				18.68		12.01	9.06
	(R, G, B)	(229,78,77)				(11,183,156)		(20,22,100)	(21,16,35)
	λ (nm 理論)	656.3				486.1		434.3	410.2
	$\Delta\lambda / \Delta x$					7.99		7.77	
Hg 未知	位置 x(格)	未顯影		29.94	29.65	25.77		11.8	未顯影
	(R, G, B)			(61,195,87)	(70,197,92)	(77,198,105)		(25,43,185)	
	λ (nm 實驗)			574.9	572.6	542.0		432.0	
	λ (nm 理論)	690.8	656.3	579.1	577.0	546.1		435.8	
	誤差%			0.7	0.8	0.8		0.9	
Na 未知	位置 x (格)	未顯影		31.3		28.59			
	(R, G, B)			(251,248,152)		(43,174,89)			
	λ (nm 實驗)			585.6		564.3			
	λ (nm 理論)	617.5		589.3（平均）		568.8			
	誤差%			0.6		0.8			

Tab.03：數位光譜資料庫 B：Fuji S602 數位相機拍攝鈉、氫、汞原子光譜，其顏色座標(H(色相),S(彩度),B(明度))【相機與光源距離 5m，光圈 A＝6，曝光時間 t＝0.33~3 秒】

氫原子光譜：

光圈	曝光時間	曝光值 E.V.	紅 λ $_{H1}$=656.3nm			綠 λ $_{H2}$=486.1nm			藍 λ $_{H3}$=434.3nm			藍 λ $_{H4}$=410.2nm		
A	t (s)	t/A^2	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度
6	0.33	0.0092	0	100	13	181	73	98	239	92	35	240	80	4
6	0.5	0.0139	3	100	16	180	85	98	238	100	43	237	95	8
6	1.0	0.0278	0	98	19	182	79	98	239	100	79	240	100	21
6	2.0	0.0556	1	100	27	180	98	100	238	100	95	239	100	33
6	3.0	0.0833	1	100	32	180	98	100	237	98	97	237	98	42
		平均	1	100	21	181	87	99	238	98	70	239	95	22

汞原子光譜：

光圈	曝光時間	曝光值 E.V.	黃 λ $_{Hg1}$=579.1nm			黃 λ $_{Hg2}$=577.0nm			綠 λ $_{Hg3}$=546.1nm			藍 λ $_{Hg4}$=435.8nm			藍 λ $_{Hg5}$=407.8nm		
A	t (s)	t/A^2	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度
6	0.33	0.0092	79	93	27	95	100	25	120	100	42	238	100	58	238	100	28
6	0.5	0.0139	77	100	30	93	99	34	119	99	58	240	100	60	239	100	32
6	1.0	0.0278	74	96	53	90	100	47	124	10	71	240	100	82	237	95	41
6	2.0	0.0556	73	100	63	86	100	74	129	99	94	240	100	87	240	100	58
6	3.0	0.0833	69	100	77	87	100	78	137	99	98	238	100	97	240	100	69
		平均	74	98	50	90	100	52	126	81	73	239	100	77	239	99	46

鈉原子光譜：

光圈	快門	曝光值	黃 λ $_{Na1}$=589.3nm			綠 λ $_{Na2}$=568.8nm		
A	t (s)	t/A^2	H 色相	S 彩度	B 明度	H 色相	S 彩度	B 明度
6	0.33	0.0092	26	90	40	120	100	2
6	0.5	0.0139	23	100	40	120	100	14
6	1.0	0.0278	35	99	63	120	100	25
6	2.0	0.0556	29	100	66	119	99	32
6	3.0	0.0833	33	100	74	119	100	43
		平均	29	98	57	120	100	23

1. 拍攝光譜時，相機的光圈值 A，曝光時間 t，則曝光值 E.V.＝t/A^2。

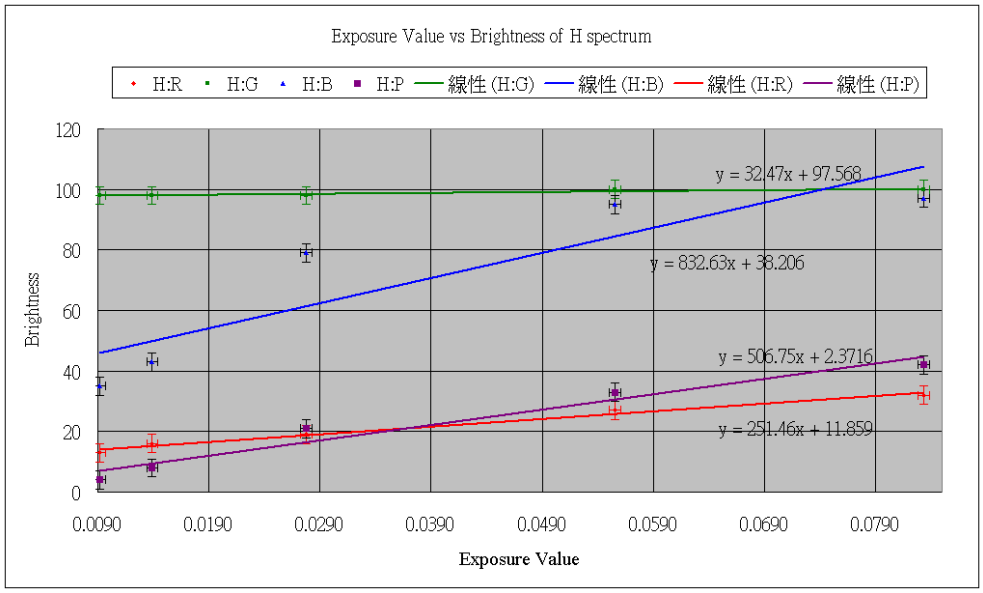
   (1)低曝光值(E.V.＝$9.2\times10^{-3}\sim8.3\times10^{-2}$)：曝光值 E.V.與 B(明度)約呈線性關係。

   (2)高曝光值(E.V.＞8.3×10^{-2})：則明度 $B\cong100$，色彩飽和。

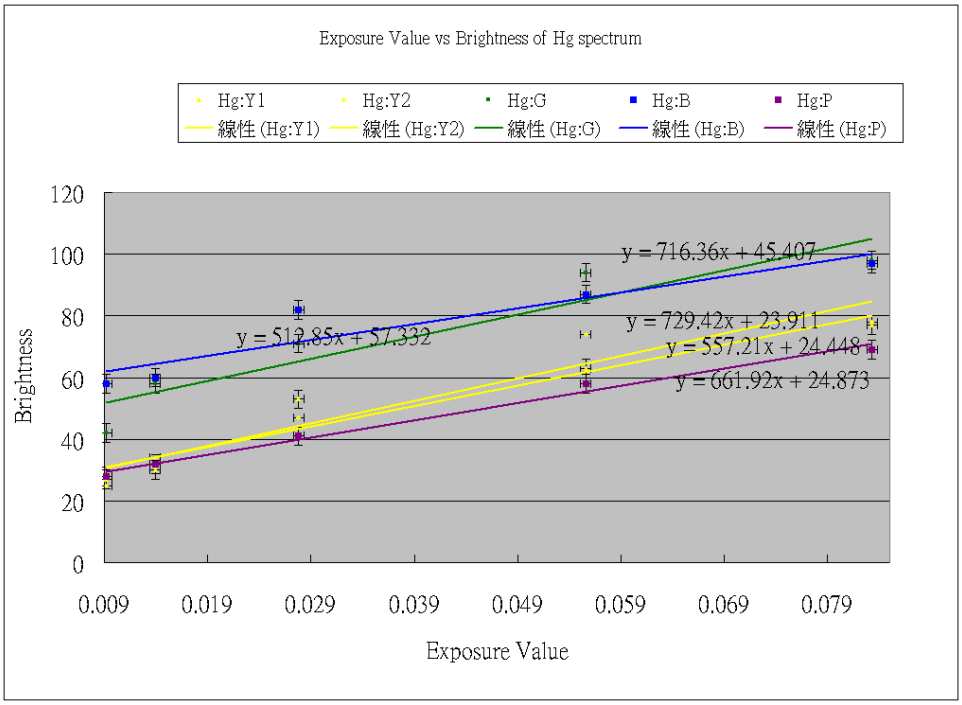
2. 不同的曝光值拍攝相同的光譜線，雖然 B(明度)不同，其 H(色相)≒定值，此爲光譜特徵，可用來鑑別原子光譜。

<應用 1>由原子光譜的顏色座標(H,S,B)，發現曝光值 E.V.與 B(明度)約呈線性關係。

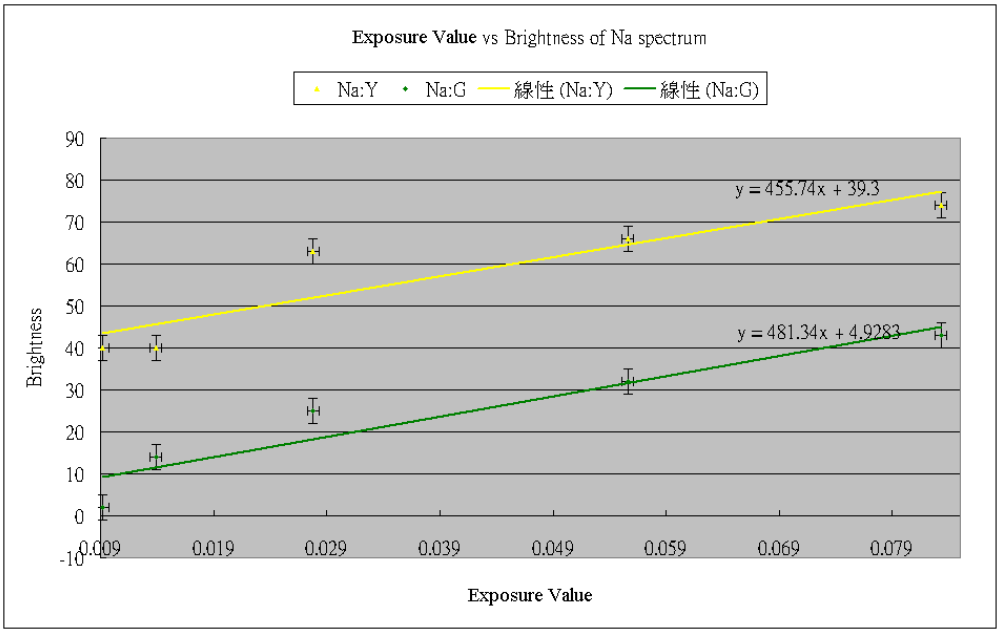
Pic.06：氫原子光譜的 B(明度)與曝光值 E.V.約呈線性關係



Pic.07：汞原子光譜的 B(明度)與曝光值 E.V.約呈線性關係



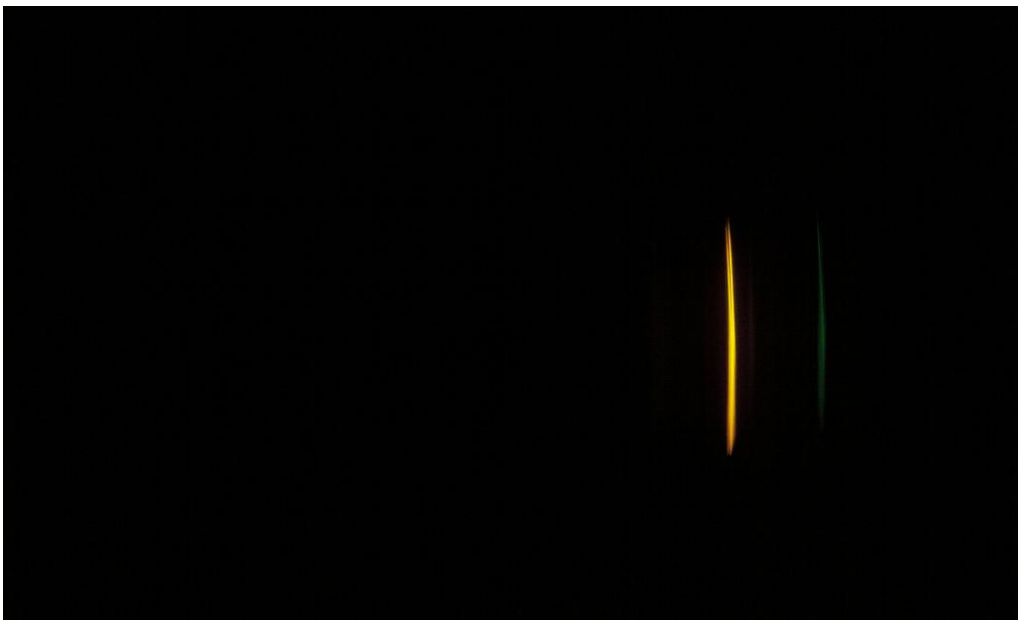
Pic.08：鈉原子光譜的 B(明度)與曝光值 E.V.約呈線性關係



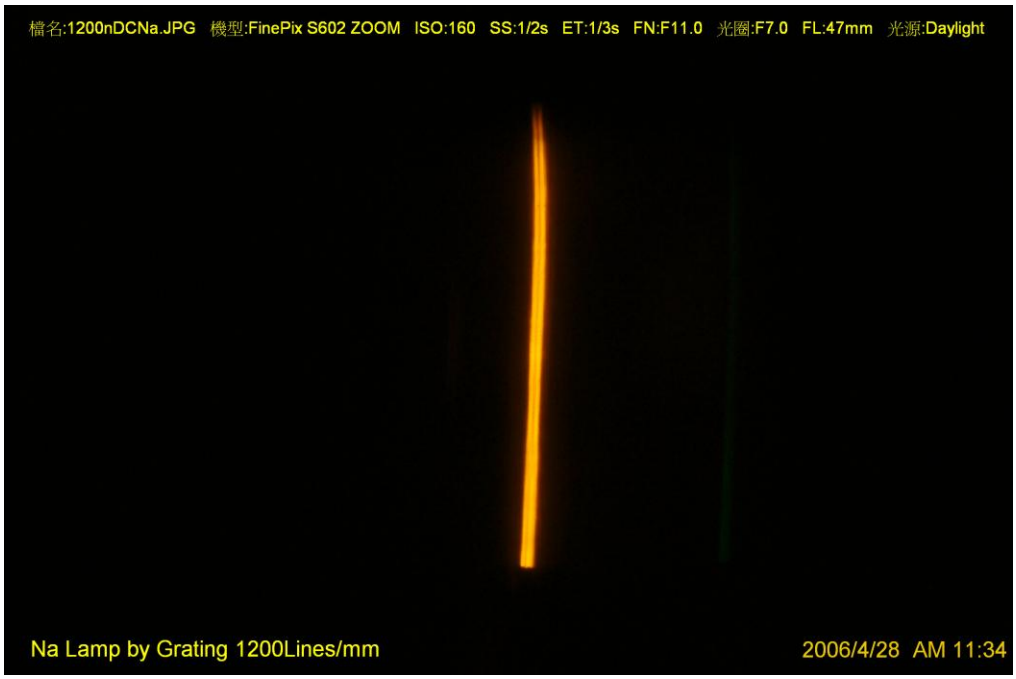
<應用 2>由「數位攝譜儀」拍攝鈉雙線，鑑別波長差Δλ ＝0.6 奈米。

鏡筒內置凸透鏡、0.5 ㎜狹縫，鈉燈**垂直入射** 1200 條/㎜光柵，於繞射角$\alpha \cong 44°$放置相機，拍攝光譜。

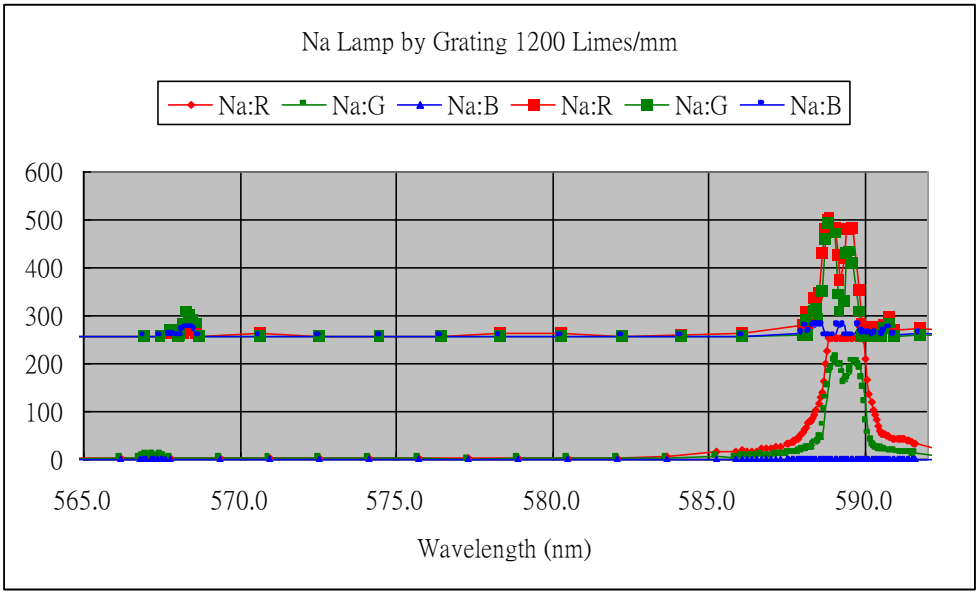
Pic.09：NikonFM2 相機，1200 條/㎜光柵鑑別鈉雙線



Pic.10：Fuji S602 數位相機，1200 條/㎜光柵鑑別鈉雙線



Pic.11：NikonFM2 相機(上)，Fuji S602 數位相機(下)，1200 條/㎜光柵鑑別鈉雙線



Tab.04:由顏色座標(R, G, B)的最小波長單位Δλ ≒0.3nm，恰可鑑別鈉雙線Δλ ≒0.6nm。

相機種類	準確值(波長)	黃(589.6nm)	黃(589.0nm)	綠(568.8 nm)
Fuji S602 數位相機	測量值(波長)	589.6nm	589.1nm	567.3nm
	(R, G, B)	(255,202,0)	(255,215,0)	(4,10,0)
Nikon FM2 (100 度正片)	測量值(波長)	589.5nm	588.9nm	568.3nm
	(R, G, B)	(254,179,0)	(247,239,0)	(10,52,18)

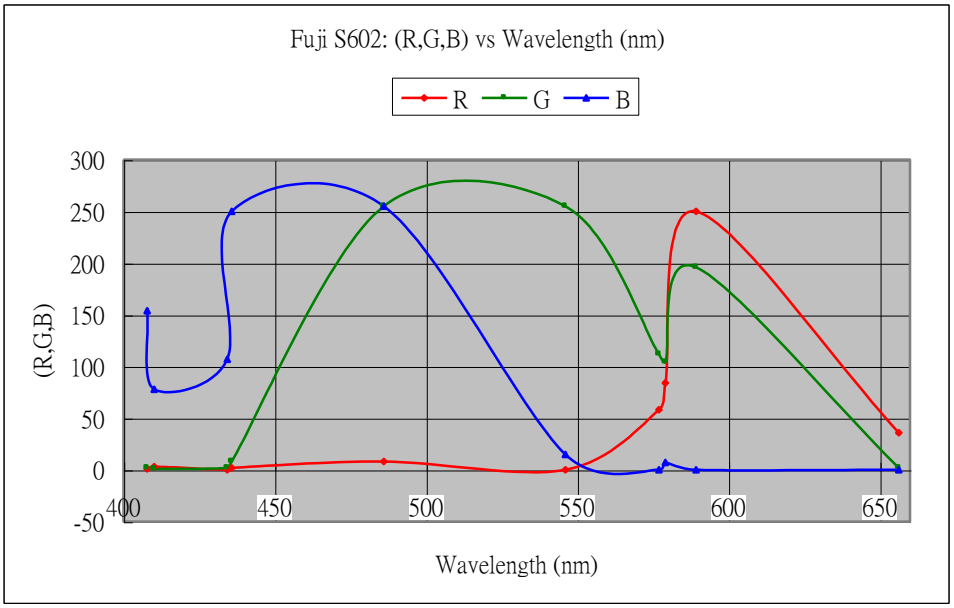
<應用 3>Fuji S602 (感光 CCD)與 Nikon 相機(100 度正片)感光原理不同，若拍攝相同光譜，可畫出波長λ 對應顏色座標(R,G, B) 感光特性曲線。

【1】R 線與 B 線互相消長，肉眼感覺黃綠色較明亮，G 線在 500~555nm 較大。

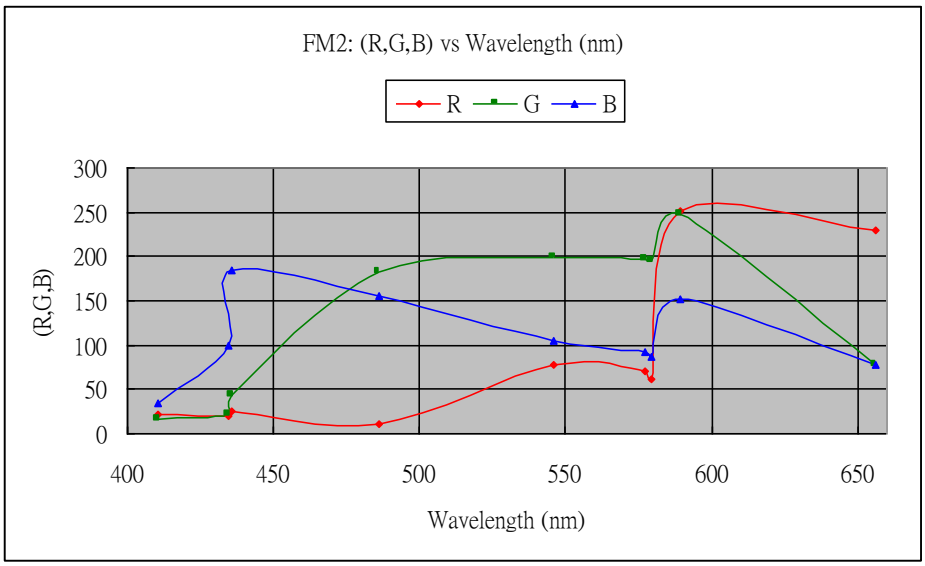
【2】數位相機約在紅光 600nm 減弱，光學相機的紅光幾乎不變。

【3】光學相機約在藍光 430nm 持續減弱，數位相機約在紫光 400nm 突然增強。

Pic.12：數位相機 Fuji S602：波長 vs (R,G,B)平均值 作圖

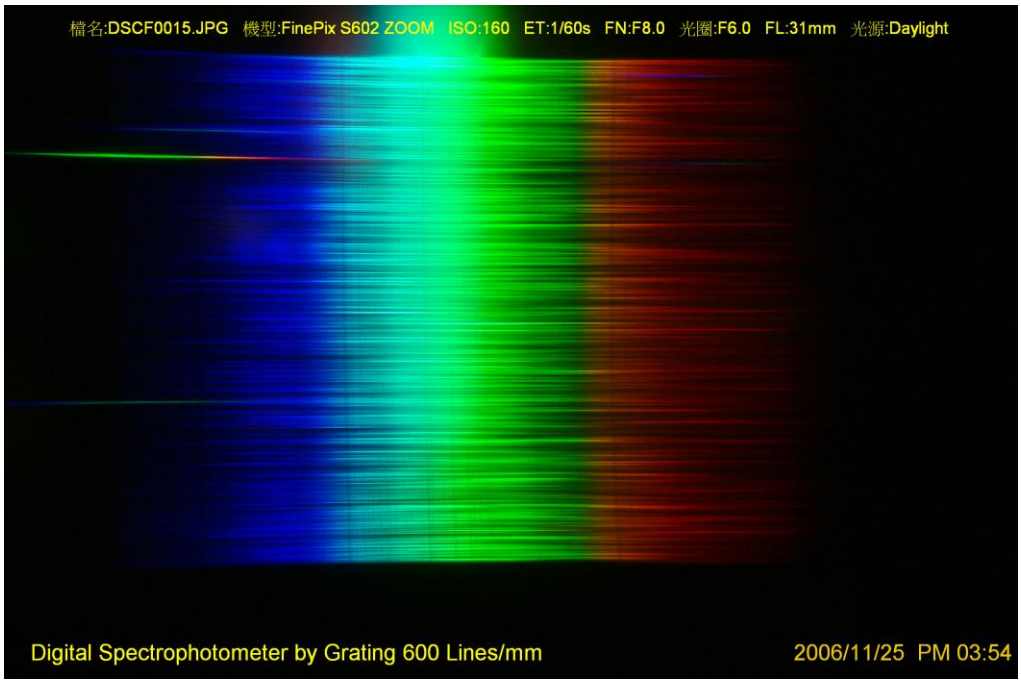


Pic.13：Nikon FM2 相機（100 度正片）：波長 vs (R,G,B)平均值 作圖

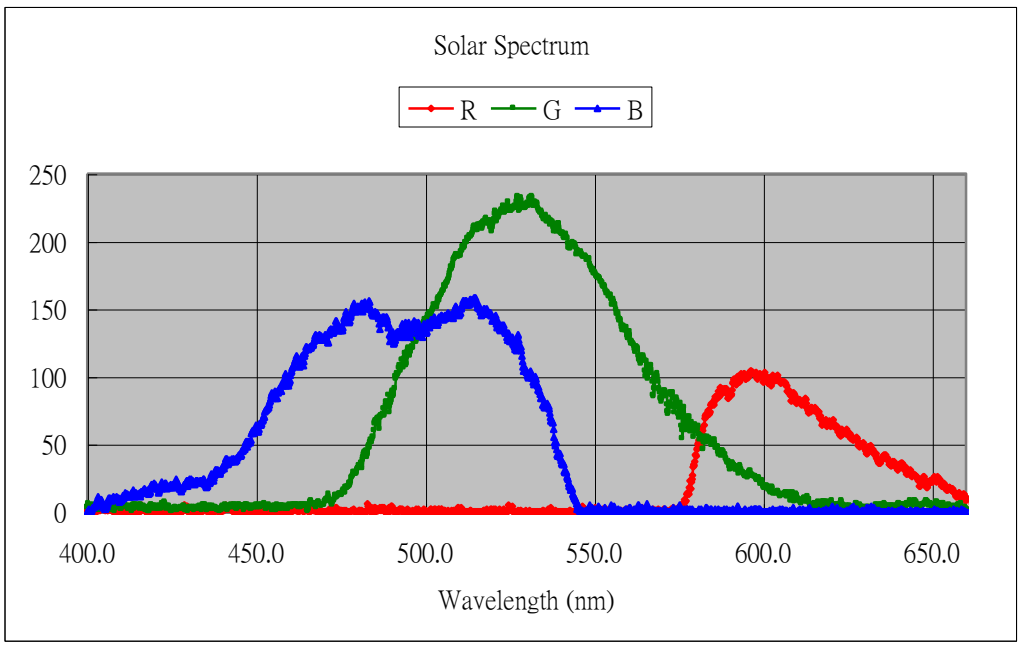


<應用 4> 數位攝譜儀蓋上黑布，使陽光垂直入射光柵，相機置於繞射角$\alpha \cong 23°$，拍攝太陽光譜。利用「數位光譜資料庫」，測量太陽的暗線光譜波長，並鑑定原子種類。

Pic.14:太陽光的暗線光譜（Fraunhofer Lines）：600 條/㎜光柵，減光鏡 ND4、ND8



Pic.15：分析太陽光的暗線光譜（Fraunhofer Lines）

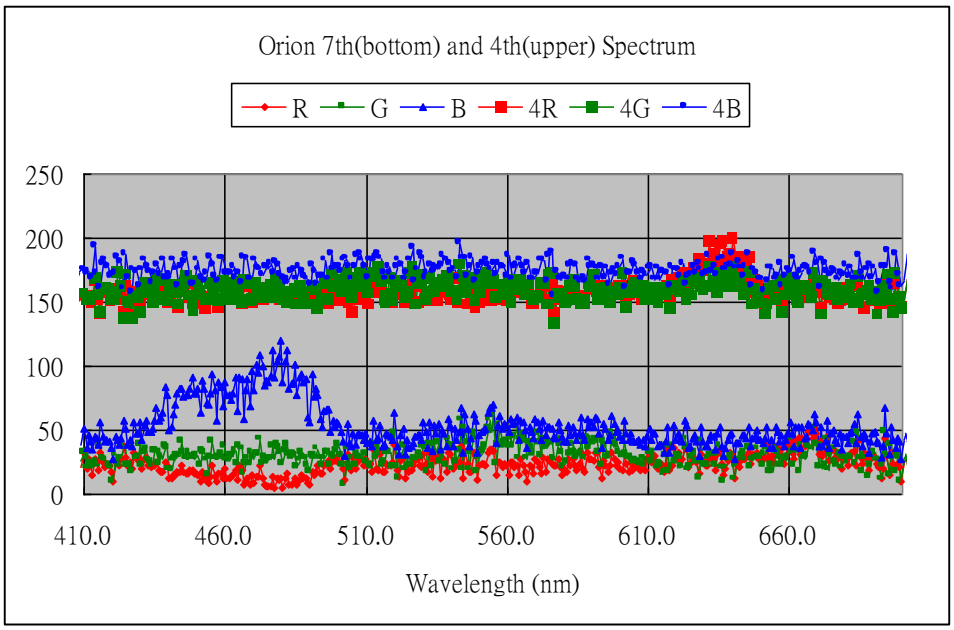


Tab：05	黃	綠	綠	綠	藍	藍
暗線光譜	589.3nm	526.6nm	518.2nm	517.2nm	486.2nm	438.5nm
對應光譜	鈉雙線	鐵 527nm	鎂 518.4nm	鎂 517.3nm	氫 486.1nm	氫 434.3nm
(H,S,B)	(26,98,35)	(152,100,88)	(162,100,83)	(162,100,83)	(210,99,55)	(238,95,9)

<應用 5>使用數位攝譜儀、數位光譜資料庫，分析獵戶座參宿四、參宿七的可見光光譜。

Pic.16：FM2 相機（100 度正片）使用 600 條/㎜光柵拍攝獵戶座光譜

Pic.17：FM2 相機（100 度正片）使用 600 條/㎜光柵拍攝獵戶座的數位光譜座標



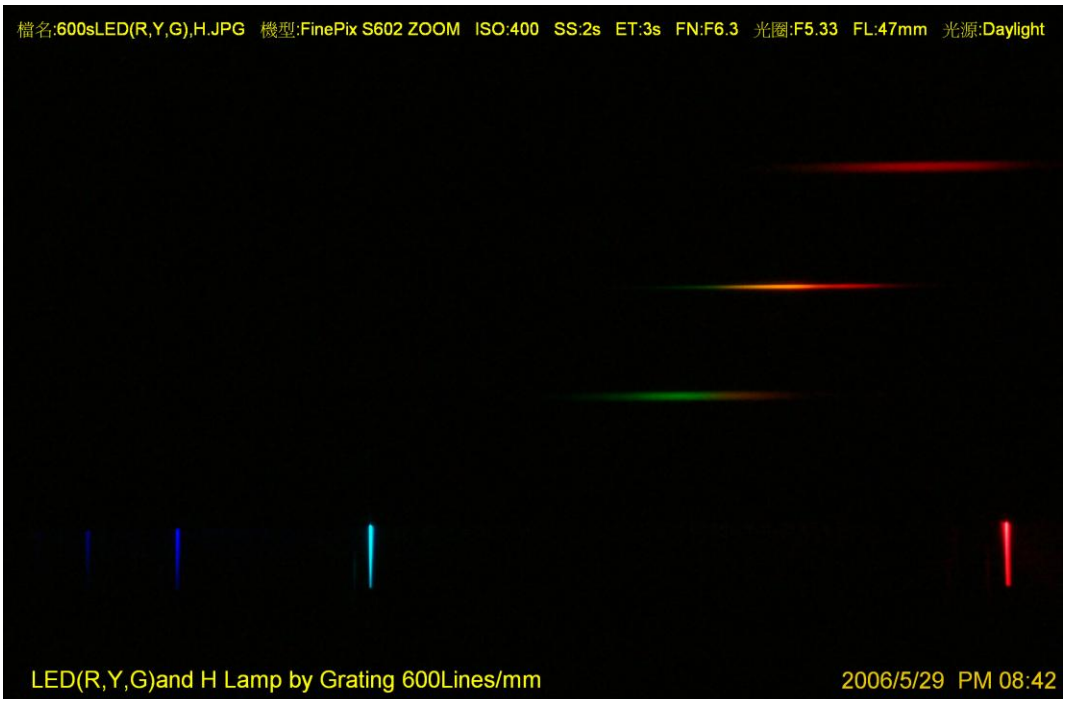
<結論>Tab.06：獵戶座參宿四、參宿七的明線（吸收）光譜

獵戶座	星等	種類	明線光譜(λ ,H,S,B)	明線光譜(λ ,H,S,B)	吸收光譜(λ ,H,S,B)
參宿四	0.4	紅巨星	氫(410.2nm,237,44,18)	氫(434.3nm,240,46,14)	汞(435.8nm,233,44,15)
參宿七	0.1	白矮星	氫(410.2nm,240,35,20)	氫(434.3nm,238,57,20)	汞(435.8nm,233,67,23)

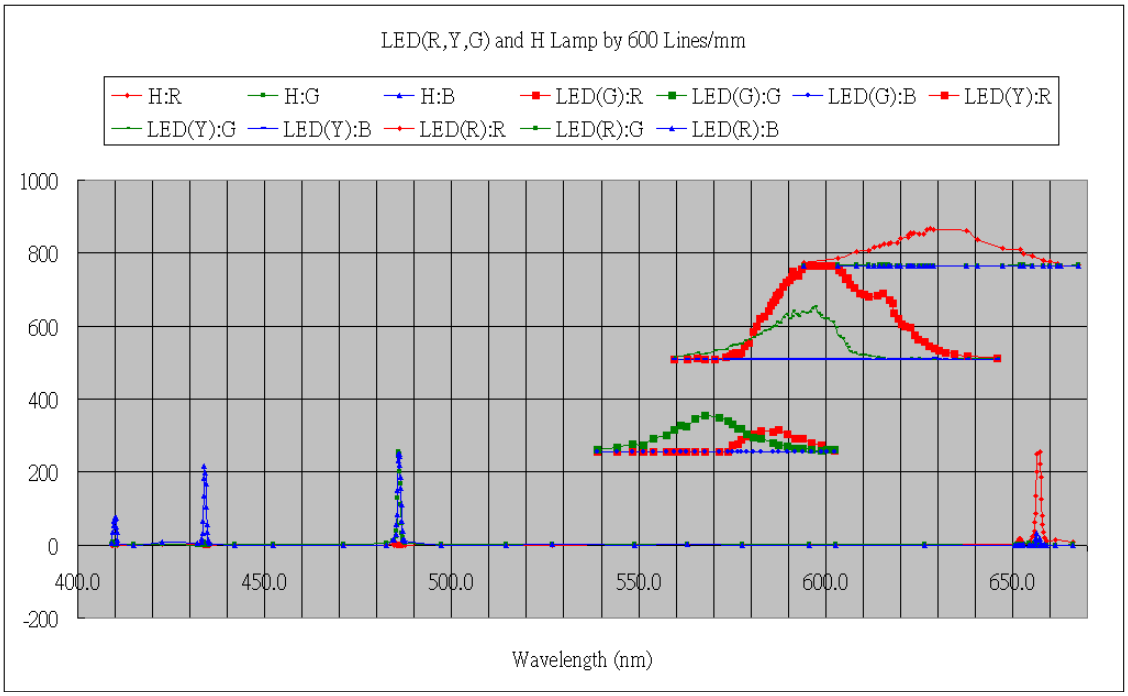
[實驗 3]：LED 的顏色會隨電位差而改變，本實驗使用電源供應器，電壓 2.5 伏特。以氫原子光譜爲準，測量紅、黃、綠 LED 的波長範圍。

<方法>相機距離光源 D＝3.20 公尺，鏡頭貼上光柵，相機旋轉角度$\theta \cong 17°$，斜向入射光柵。

Pic.18：Fuji S602 數位相機與 600 條/㎜光柵拍攝紅、黃、綠 LED 與氫燈光譜



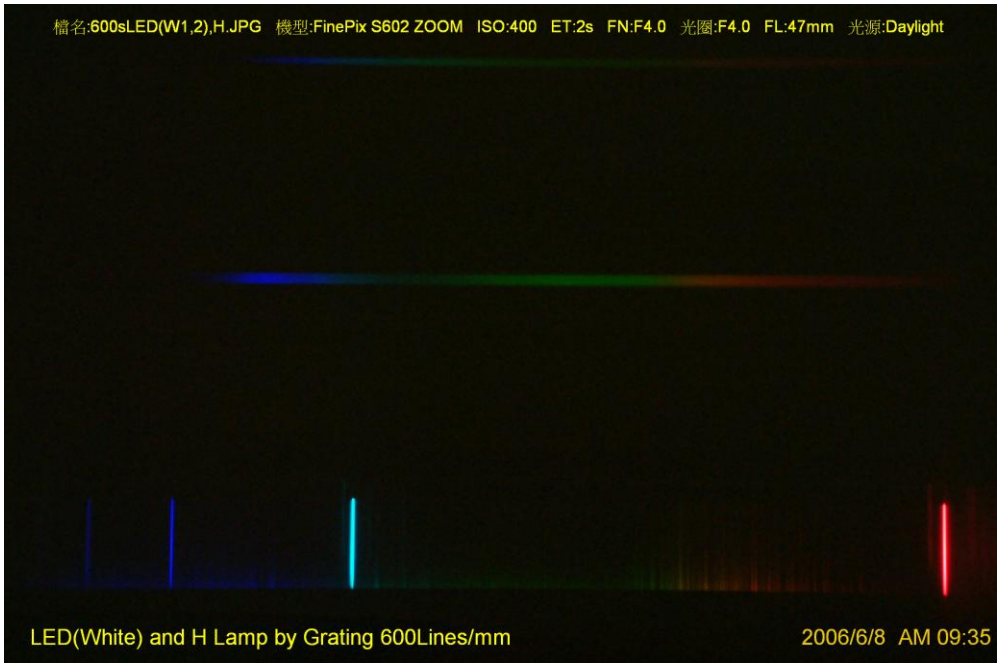
Pic.19：Fuji S602 數位相機與 600 條/㎜光柵拍攝紅、黃、綠 LED 與氫燈數位光譜座標



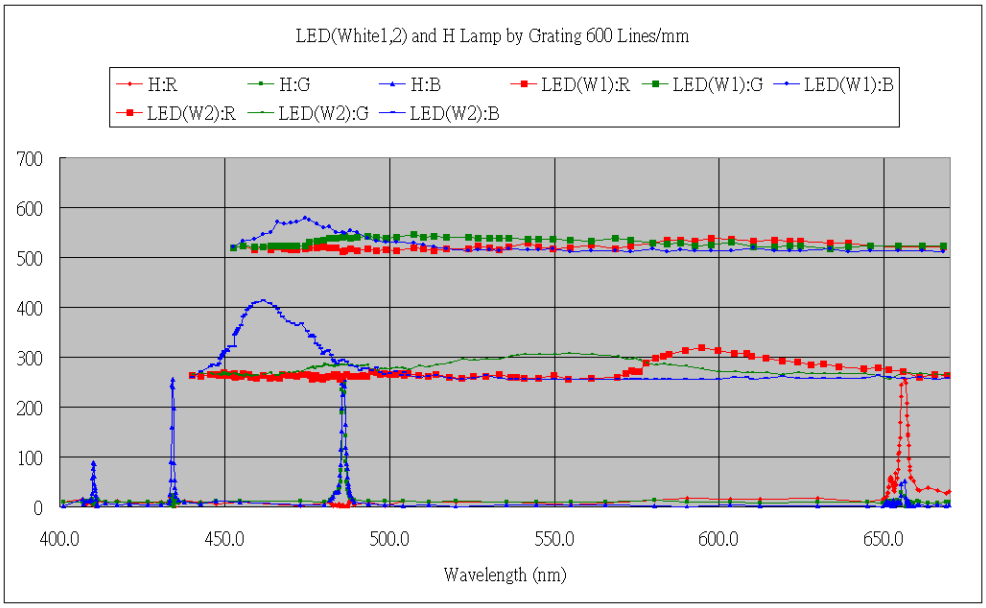
[實驗 4]：以氫原子光譜爲準，測量 2 顆白光 LED 的波長範圍。

<方法>相機距離光源 3.20 公尺，鏡頭貼上光柵，相機旋轉角度 $\theta \cong 17°$ ，斜向入射光柵。

Pic.20：Fuji S602 數位相機與 600 條/㎜光柵拍攝白光 LED（2 個）與氫燈光譜



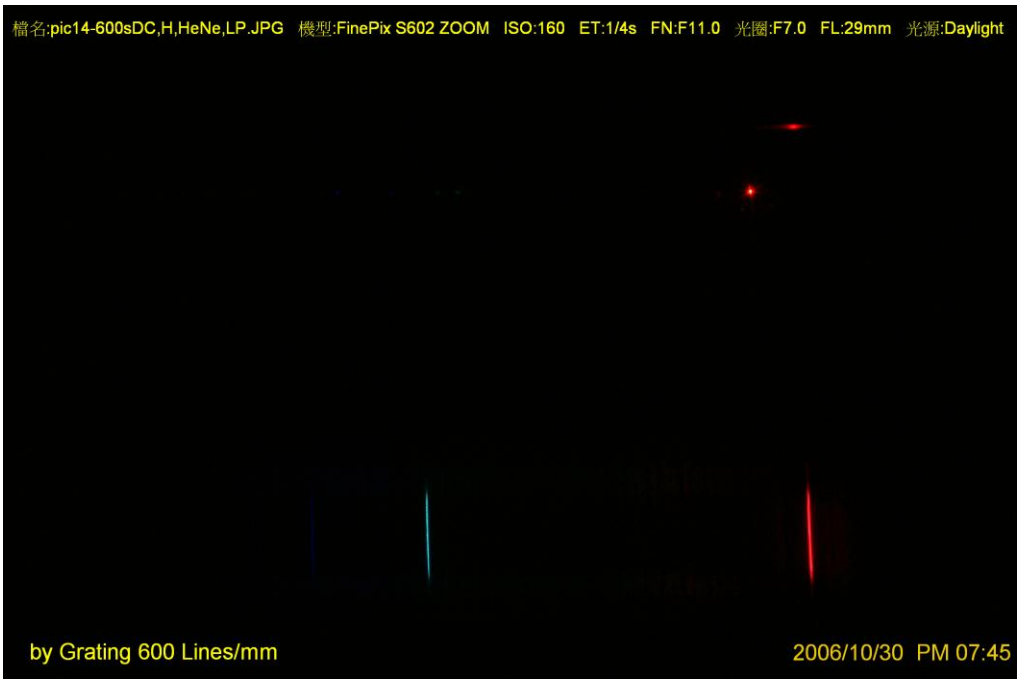
Pic.21：Fuji S602 數位相機與 600 條/㎜光柵拍攝白光 LED（2 個）與氫燈數位光譜座標



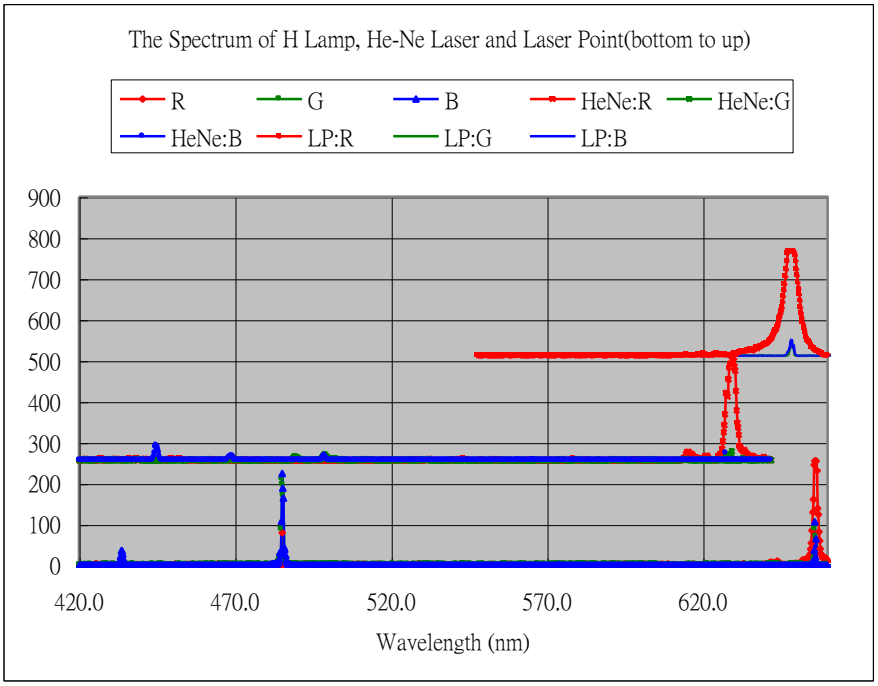
[實驗 5]：以氫原子光譜爲準，測量 He-Ne 雷射、雷射光筆光譜的波長範圍。

<方法>相機距離光源 D＝3.20 公尺，鏡頭貼上光柵，相機旋轉角度$\theta \cong 17°$，拍攝 He-Ne 雷射（分子光譜）、雷射光筆（半導體）的光譜。

Pic.22: 拍攝氫原子光譜、He-Ne 雷射、雷射光筆的光譜（600 條/㎜）。



Pic.23：氫原子光譜、He-Ne 雷射、雷射光筆光譜的數位光譜座標



<結論>

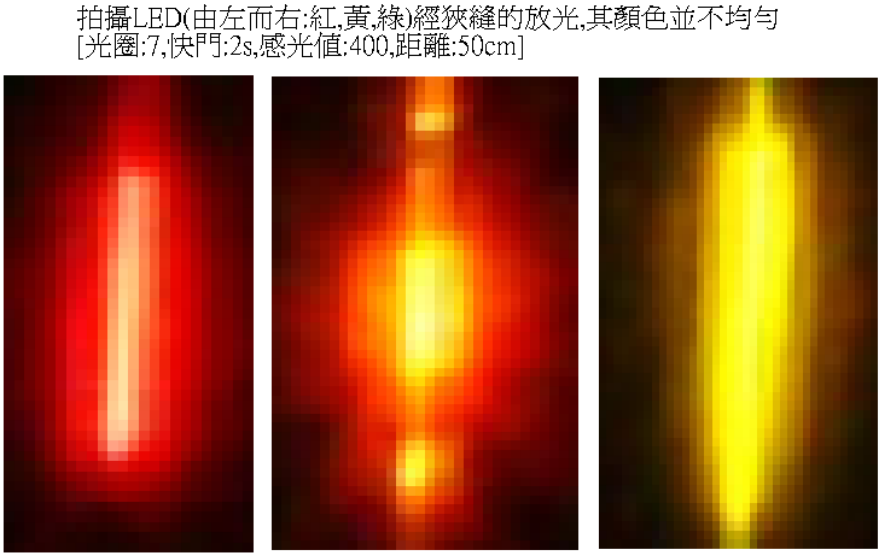
Tab.07：氫原子光譜爲「校準光譜」，測量 LED 光譜範圍，誤差 1% ，準確度 0.6nm。

LED 顏色(型號)	波長範圍(nm)	R 線極大、波長	G 線極大、波長	B 線極大、波長
紅光 (RB-234HRS)	594.3<λ <667.5 Δλ =73.2nm	λ =628.0nm 座標(101,0,0)	λ =608.4nm 座標(39,4,0)	幾乎爲零
黃光 (RT3-434ACS)	559.5<λ <638.1 Δλ =78.6nm	λ =599.6nm 座標(255,110,0)	λ =597.2nm 座標(255,142,0)	幾乎爲零
綠光 (RB-534YGCS)	538.8<λ <602.4 Δλ =63.6nm	λ =587.6nm 座標(60,18,0)	λ =567.6nm 座標(0,99,0)	幾乎爲零
白光（上）	452.7<λ <667.9 Δλ =215.2nm	λ =597.6nm 座標(27,13,2)	λ =507.3nm 座標(7,34,17)	λ =474.4nm 座標(5,12,67)
白光（下）	440.1<λ <669.0 Δλ =228.9nm	λ =594.7nm 座標(63,21,0)	λ =554.3nm 座標(0,51,0)	λ =461.6nm 座標(8,10,157)

Tab.08：比較氫燈，He-Ne 雷射、雷射光筆的明線(連續)光譜，誤差 1% ，準確度 0.6nm。

光源	波長範圍(nm)	明線光譜	明線光譜	明線光譜	明線光譜	說明
氫燈		656nm	486nm	434nm		原子光譜
He-Ne 雷射	626<λ <633	450nm	469nm	490nm	499nm	分子光譜
雷射光筆	642<λ <654					半導體光譜

Pic.24：將 LED(紅、黃、綠)固定在黑色底片盒中，並貼上 0.1mm 狹縫，彼此不干擾，其發光強度與形狀面積無關，拍攝放光的數位影像，放大至馬賽克。

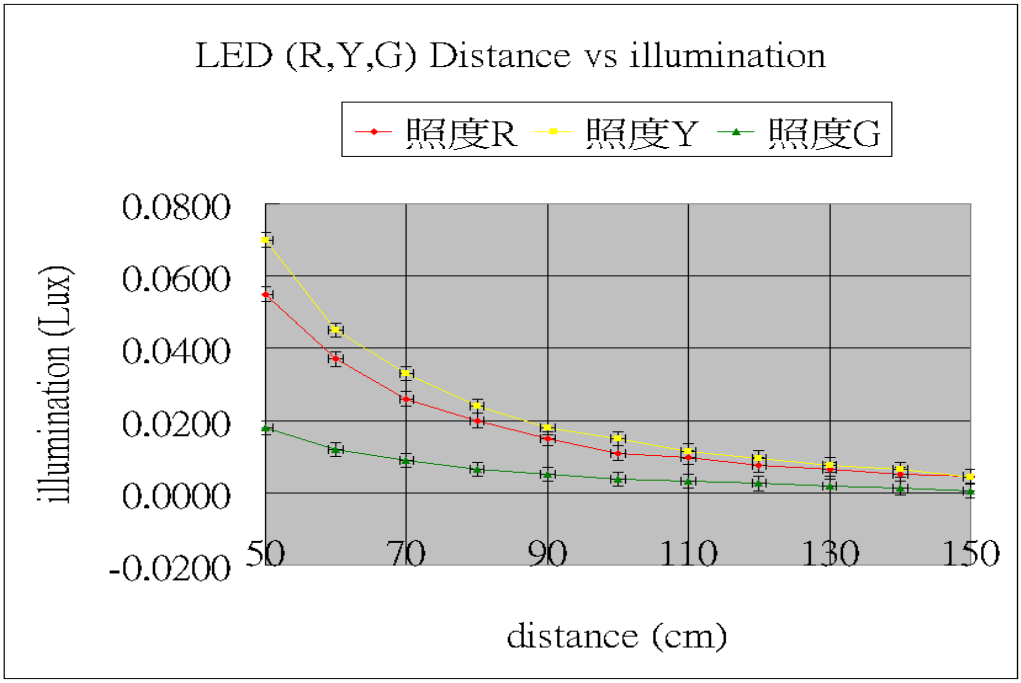


【1】因爲 LED 爲複色光，中間黃光 LED 顏色不均勻，中央黃色而兩邊紅色，顏色座標 H(色相)、B(明度)差異甚大。

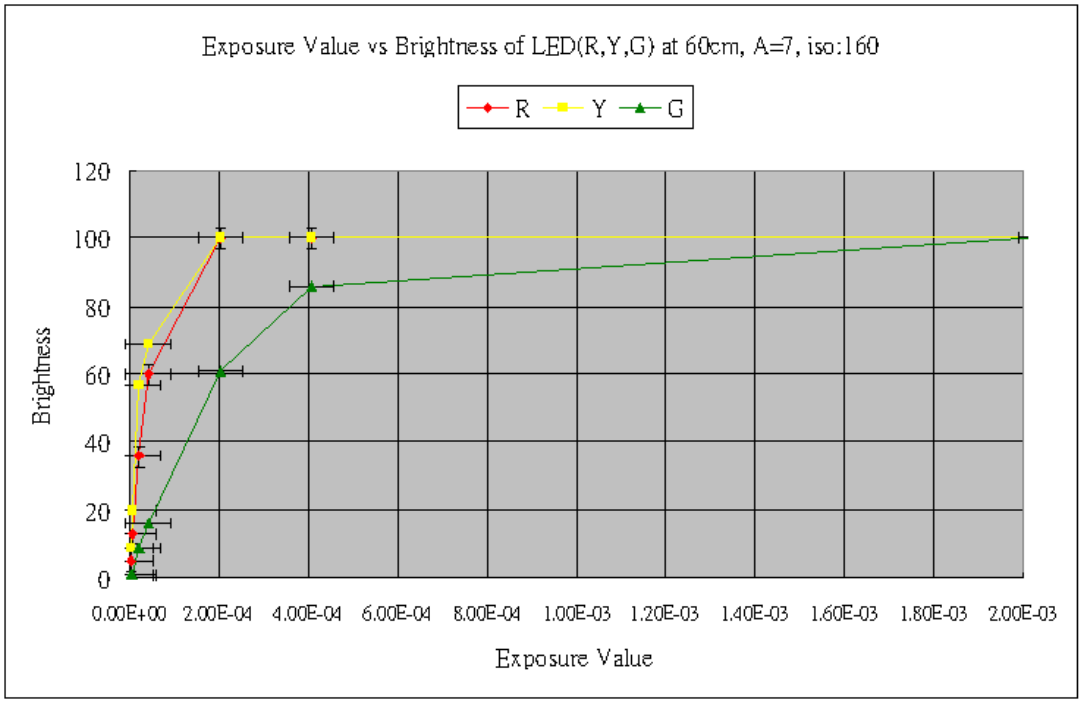
【2】右邊爲綠光 LED，其顏色均勻（波長範圍Δλ 比較小）偏黃色，品質較佳。

[實驗 6]：將 LED 置於黑色底片盒內放光，使用 Light sensor (Pasco) 於不同距離測量照度。

Pic.25：LED 的距離與照度的特性曲線，其照度約與距離平方成反比。



Pic.26：固定光圈 A=7，距離 60 ㎝，測量相機曝光值與明度的特性曲線。



【1】相同曝光值拍攝 LED，發現 B(明度)：黃光＞紅光＞綠光，與 Pic.25 照度順序吻合。

【2】雖然無法直接測量 LED 的發光強度($\ell m/W$)，可由數位影像的 B(明度)、Light sensor 測量照度(Lux)，得到相同結論。

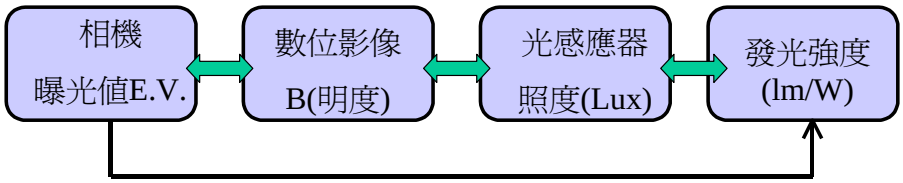
五、討論

1. 用顏色座標(λ ,R,G,B,H,S,B)比較原子光譜、LED 光譜的差異

原子光譜	LED 光譜
明線光譜	連續光譜（波長範圍越小，品質越好）
單色光（波長固定）	複色光（R,G,B 螢光粉混合）
顏色均勻，H(色相)≒定值	顏色不均勻，H(色相)、B(明度)不爲定值
低曝光值 E.V.與 B(明度)呈線性關係	B(明度)、照度爲「低相關」

2. 產業應用

【1】產業界將 LED 的螢光粉製成薄膜，則 LED 放光更亮，若Δ λ 更小，理論上數位相機拍攝遠方的 LED，便可推算 LED 的發光強度。



【2】產業界用光度計測量 LED 的發光強度，不但很昂貴每次只能測量 1 顆。用「數位分析法」，同時拍攝許多個 LED 的數位影像，很容易鑑定 LED 的品質。

3. 儀器部分：

【1】數位攝譜儀搭配 400 萬畫數數位相機、1200 條/mm(教學用)光柵，用光圈 7 能拍攝很細的光譜，鑑別Δ λ ＝0.6nm 的鈉雙線(Pic.10,11)。

【2】把原子光譜作爲標準顏色，可比較不同廠牌數位相機的色彩顯影曲線(Pic.13,14)。

【3】因爲數位相機的 CCD 色彩顯影非線性，以至於較暗的光譜未顯影(Tab.01)。

4. 測量 LED 波長範圍

【1】可用 R,G,B 線分析白光 LED 用藍光晶片、黃光、紅光螢光粉混合比例。

【2】若白光 LED 的螢光粉比例不同，其顏色座標曲線會偏移。

【3】台灣琭旦生產黃光 LED（編號 RT3-434ACS）的規格：波長 540~640nm，在 580nm 的相對發光強度最大，與 Tab.07 結果接近。

5. 比較 He-Ne 雷射、雷射光筆的光譜。

【1】He-Ne 雷射有 4 條很暗的明線光譜，不是單色光，應視爲「分子光譜」。

【2】雷射光筆的波長範圍比 LED 小，功率較大，不是單色光，應視爲「半導體光譜」。

6. 顏色座標(λ ,R,G,B,H,S,B)方面：

【1】不同電腦判讀照片中同一個馬賽克，其顏色座標(R,G,B)都相同，可客觀分析。

【2】雖然數位相機的「白平衡」可調整影像顏色，其數位影像的顏色座標(R,G,B)也會改變，本實驗白平衡設定 Daylight。

【3】H(色相)爲光譜特徵，利用「數位光譜資料庫」可判斷數位影像未知光譜的波長。

六、 實驗結論

1. 數位攝譜儀配合數位分析方法，不但可精確分析各種光源的光譜，也具有原創性。
2. 天文學家可利用「數位光譜資料庫」，將拍攝光譜轉成數位座標(λ ,R,G,B,H,S,B)，搜尋可能對應的波長λ ，可鑑別元素（化合物）、測量該光譜線的位移，深具應用價值。
3. 產業界用波長範圍規範 LED 的顏色，但顏色並不精準，很難品質保證，「數位光譜分析法」可精準分析 LED 的顏色座標(λ ,R,G,B,H,S,B)。
4. He-Ne 雷射、雷射光筆，雖號稱「雷射」，都不是單色光。
5. 「數位攝譜儀」的特點：

【1】符合高中物理、化學「氫原子光譜」的教材實驗，真正「動手拍攝光譜」。

【2】無須使用光感應器、無電路設計，搭配數位相機，即可拍攝光譜，誤差 1% 以內。

【3】由程式畫出 LED 的顏色座標(λ ,R,G,B,H,S,B)特性曲線，比產業界規格更準確。

【4】鑑別相差 0.6nm 的鈉雙線，相當於從 5 ㎝寬的照片，肉眼鑑別相距 0.1 ㎜的細線，繞射角 0.058°，是高難度的挑戰。

【5】可搭配腳架，拍攝太陽的暗線光譜（Fraunhofer Lines）、星光光譜，並分析可能對應的原子光譜。

七、 參考資料

編號	內容	頁數
1.	施威銘 編著：高中電腦(下) 旗力資訊股份有限公司	115
2.	Weast ‘C.R.C. Handbook of Chemistry and Physics’ 60th edition	E260、277、314
3.	Frank. L.Pedrotti, S.J.Leno., S. Pedrotti. ,’Introduction to Optics’“ 2nd edition (Prentice Hall,US 2001)	350
4.	R. A. Serway and J. W. Jewett, ‘Principles of Physics’ 3rd edition (Harcourt, Singapore 2002)	1007 1024
5.	大學物理學, 2e , Book4 “波動與光學” 清華大學出版社, 張三慧 著.	188

※「數位攝譜儀及其數位分析方法」已榮獲中華民國發明專利第 94140813 號，已申請美國發明專利。

請置於版面右下方

國立大里高中	中區：物理科
作者姓名：林育瑞、劉東霖、賴偉源、賴俊名	指導老師：黃詩翔、張啓中
※本作品”數位攝譜儀”(含數據,影像)已榮獲中華民國發明專利第 94140813 號，已申請美國發明專利。	

【評　語】　　040812　數位攝譜儀及其數位分析方法

1.利用數位相機紀錄光譜及利用譜線來校正光譜儀達成小型及數位化的功能，值得鼓勵。

2.光譜波長的準確度及光譜強度的調校是光譜儀必須具備的功能，因此建議來實驗探討中設計並討論影響因素。