

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第二名、最佳創意獎

040107

數位影像分析可見光光譜

國立大里高級中學

作者姓名：

高二 吳詩芳 高二 李佳杰 高二 張哲睿
高一 劉子裕

指導老師：

黃詩翔 林士超

附件五 說明書封面

台灣省第四十五屆第三區高級中等學校 科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科

組 別：高中組

作品名稱：數位影像分析可見光光譜

關 鍵 詞：鈉雙線、可見光光譜、數位影像 (最多三個)

編 號：

(由國立臺灣科學教育館統一填列)

一、 前言：

光源所含的氣體原子，於激發態躍遷時會發出特定的光譜線，分析光譜可鑑定光源所含的氣體分子種類、含量。

一般用「光感應器」偵測光譜線，但無法測量光譜顏色，若兩條很接近的光譜線，很難由繞射角度作圖鑑別。

大學用單光儀 **monochromatic** 測量光譜線的波長，但單光儀幾十萬元，無法攜帶。我們自製「攝譜儀」成本不到 3 萬元，能靈活拍攝各種光源的光譜，並鑑別鈉雙線，適合高中物理光學示範實驗。

我們使用 2 種方法，用 400 萬畫素數位相機與單眼相機拍攝氫、汞、鈉原子光譜：

1. 將 3 種光源垂直排列，把光柵固定在相機鏡頭，斜向入射，同時拍攝光譜，由已知的光譜線求未知光譜線對應的波長。
2. 光源垂直入射 1200 條/mm 光柵，相機置於繞射角，鑑別 2 條很接近 5890、5896 Å 鈉雙線。

將拍攝光譜掃描成數位影像，放大後每個「馬賽克」當作光譜的最小「色塊」，PhotoShop 軟體可將馬賽克的位置、顏色寫成「座標」：(位置 x ，紅 R 、綠 G 、藍 B 、明暗度 Br)，每個馬賽克相當於光譜波長 3Å，利用顏色座標，成功鑑別相差 6 Å 鈉雙線，並測量光譜波長、誤差 2% 以內。

每條光譜線可視為單色光，由拍攝光譜可比較傳統相機(正片)、數位相機 CCD 對紅、綠、藍光波段的色彩特性曲線，具有商業價值。

1. 綠光約在 5770、5150 Å 有 2 個相對極大，其明暗度也相對極大。
2. 紅光約在 6563Å，數位相機的明暗度減弱，而傳統相機的明暗度幾乎不變。
3. 兩種相機在紫光 4102Å 明暗度均減弱。

雖然原子光譜學遠超出高中生所能理解，我們將波長 λ 轉成顏色座標(R,G,B,Br)，建立「可見光光譜數位資料庫」，若制定攝影參數，可由拍攝光譜顏色搜尋可能對應的波長，於天文光譜學極具應用價值。

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，但誤差很大，很難客觀描述光譜顏色。偶然發現，透過光柵，可在夜間看到汽車頭燈為連續光譜、水銀燈為亮點光譜(Pic.1)，從光柵看世界竟是如此奇妙。

我們只使用攝影腳架、相機、凸透鏡、刻度圓盤、1200 條/mm 光柵便組裝「攝譜儀」(Pic.2)，不但成功鑑別鈉雙線，也可靈活拍攝遠方光源的光譜。

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，因為電腦不但可靈活放大影像，至少可鑑別 3 萬 2 千種顏色，將各種顏色的光譜線轉成數位座標，不但可測量未知光源的光譜線所對應的波長、顏色，也成功鑑別 5890、5896 Å 相差 6 Å 鈉雙線，深具實用價值。

Pic.01:遠方的車燈(連續光譜)與水銀燈(明線光譜)

DSCF0020.JPG ISO:200 SS:1/4s ET:1/4s EV:0EV FN:F2.8 光圈:F3.0 FL:8mm 測光:Pattern



黃詩翔 拍攝

2004/2/26 PM 08:52

Pic.02：自製「攝譜儀」



三、 理論印證

[實驗 1] 雷射光垂直入射，印證光柵分光符合繞射公式。

【1】 He-Ne 雷射 ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$) 入射 600、1200 條/mm 光柵。記錄光柵到像屏距離 r ，中央亮點到第一亮點的距離 x 。

【2】 已知光柵的狹縫寬度 d ，測量繞射角 α ，驗證繞射公式

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{由圖形: } \tan \alpha = \frac{x}{r} \\ \text{繞射公式: } d \cdot \sin \alpha = l \end{array} \right.$$

$$600 \text{ 條/mm 光柵: } d_1 = \frac{632.8 \times 10^{-9}}{\sin 22.63^\circ} = 1.644 \times 10^{-6} \text{ m} = \frac{1}{608} \text{ mm}$$

$$1200 \text{ 條/mm 光柵: } d_2 = \frac{632.8 \times 10^{-9}}{\sin 49.8^\circ} = 8.28 \times 10^{-7} \text{ m} = \frac{1}{1207} \text{ mm}$$

，故公式正確

Tab.1 : 600 條/mm、1200 條/mm 光柵的繞射角 α

r (cm)	600 條/mm 光柵			1200 條/mm 光柵		
	x (cm)	x/r	繞射角 α	x (cm)	x/r	繞射角 α
220	93	0.42	22.9	260	1.18	49.8
200	86	0.43	23.3	250	1.25	51.3
180	76	0.42	22.9	227	1.26	51.6
160	68	0.43	23	193	1.21	50.3
140	60	0.43	23.2	180	1.29	52.1
120	50	0.42	22.6	132	1.10	47.7
100	42	0.42	22.8	121	1.21	50.4
80	33	0.41	22.4	102	1.28	51.9
60	24.5	0.41	22.2	64	1.07	46.8
40	16	0.40	21.8	44.5	1.11	48
20	8	0.40	21.8	22	1.10	47.7
	平均	0.41	22.63	平均	1.19	49.8

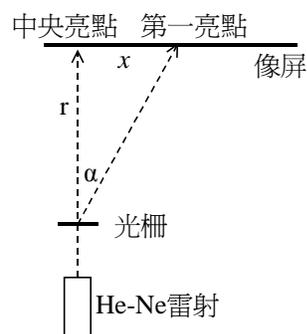


Fig.1 測量光柵的繞射角 α

[實驗 2] He-Ne 雷射 (波長 6328 \AA) 以 θ 斜向入射狹縫寬度 d 光柵，印證繞射理論^{1st}。

【原理】以中央亮點為原點，測量左側第一亮點的距離，分別為 x ，其繞射角 α 。光源以 θ 斜向入射狹縫寬度 d 光柵，有效狹縫寬度 $d \cdot \cos q$ 變窄，則第一亮點與中央亮點距離變大， $\frac{\text{光程差}}{\cos q} = \text{波長} \therefore l = \frac{d \cdot (\sin \alpha + \sin q)}{\cos q}$ 。

$$\text{由 Fig.2 圖: } x = r \tan \alpha + r \tan q \Rightarrow \tan \alpha = \frac{x}{r} - \tan q$$

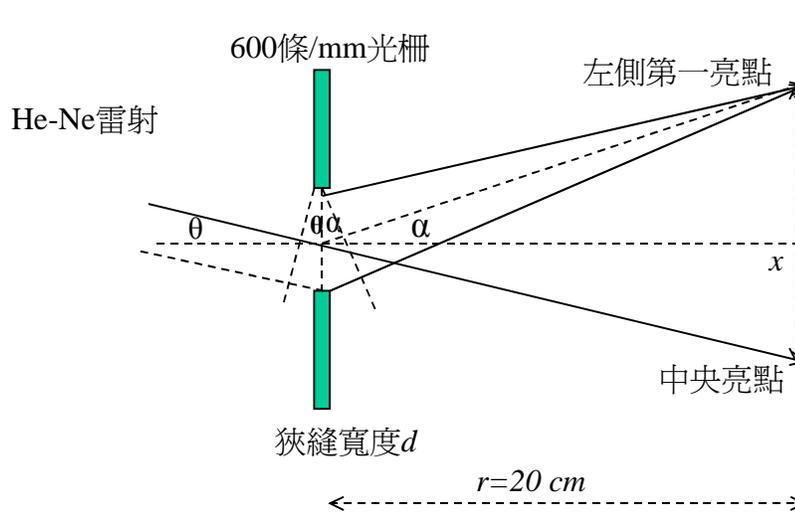


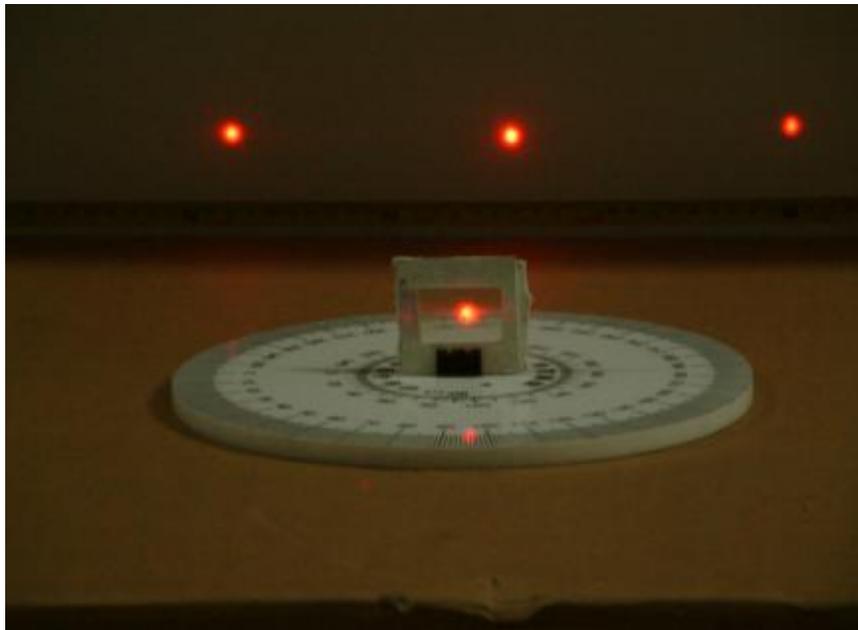
Fig.2:測量中央亮點與左側第一亮點的距離 x

Tab.2: 雷射光以 θ 斜向入射 600 條/mm光柵，由左側第一亮點，測量雷射光波長。

θ (deg)	0	5	10	15	20	25	30	35
x (cm)	8	8	7.5	7.5	7.5	8	8	8.5
繞射角 α (rad,左)	0.38	0.30	0.20	0.11	0.01	-0.07	-0.18	-0.27
左側光程差(\AA)	6190	6449	6237	6302	6262	6555	6262	6271

※ 左側第一亮點光程差的平均值 6316\AA ，與雷射光波長 6328\AA ，誤差平均 0.2%，證實理論正確。

Pic.03：雷射光斜向入射光柵，測量中央亮點與左、右兩側第一亮點距離



四、 實驗過程、觀察記錄

[實驗 3] 光源斜向入射光柵，同時拍攝鈉、氫、汞原子光譜。

求未知光譜：將鈉、氫、汞燈垂直排列(Pic.3)，相機距離光源 $D=5.5$ 公尺，調整角度 $q \cong 10^\circ$ ，斜向入射 600 條/mm 光柵，拍攝中央亮點與第一級的光譜（全光譜）。

【原理】

1. 因為同時拍攝不同光源的光譜，則光柵與底片的等效距離 r 相同，作為換算波長的常數。
2. 由已知氫燈光譜波長 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 ，求出光柵與底片等效距離 r 。

$$\begin{cases} \frac{d}{\cos q}(\sin \alpha_i + \sin q) = l_i & \dots(1) \\ \tan \alpha_i = \frac{x_i}{r} - \tan q & \dots\dots\dots(2) \end{cases} \quad \text{其中 } i = 1, 2, 3, \dots$$

3. 由拍攝光譜照片測量汞、鈉原子光譜與中央亮點距離 x_{Mi} 與 x_{Si} 帶入上式，求對應波長 λ_{Mi} 、 λ_{Si} ，與文獻比較，計算誤差。

計算鈉雙線波長差 $\Delta \lambda$ ：更換光柵為 1200 條/mm，轉動相機，光源入射角度 $q \cong 33^\circ$ ，拍攝第一級由紅色到紫色的光譜（半光譜）^{3rd}。

【原理】

1. 相機視野從紅光~紫光， $4102 \leq l \leq 6563 \text{ \AA}$ ，代入(1)式，則繞射角

$$-7.6^\circ \leq a \leq 6.6^\circ \quad \therefore 0.98 \leq \cos^3 a \leq 1$$

2. 微分(1)： $\frac{\Delta l}{\Delta a} = \frac{d \cdot \cos a}{\cos q}$ ，微分(2)： $\Delta x = r \cdot \sec^2 a \cdot \Delta a$ 則

$$\frac{\Delta l}{\Delta x} \cong \frac{\Delta l}{r \cdot \sec^2 a \cdot \Delta a} = \frac{d \cdot \cos^3 a}{r \cdot \cos q} = \text{定值} \cdot \cos^3 a \cong \text{定值} \quad (\text{測量誤差 } 2\% \text{ 以內})$$

其中：相鄰兩條光譜線波長差 $\Delta \lambda$ ，繞射角的夾角 Δa ，成像在照片的位置 Δx 。

\therefore 只要確認 3 條光譜線的波長 λ 與位置 x ，即可計算鈉雙線波長差 $\Delta \lambda$

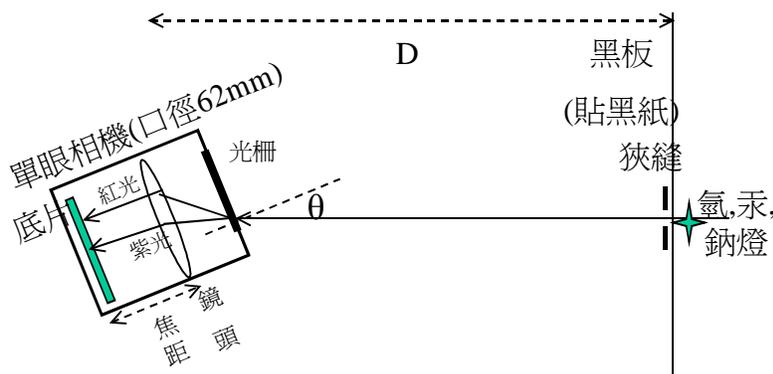
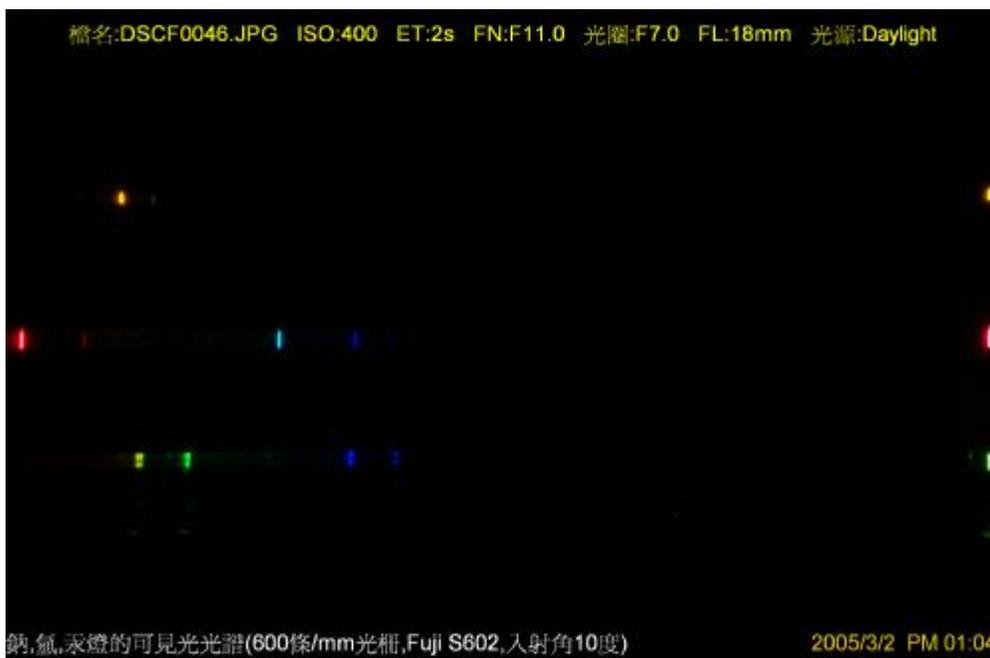


Fig.3 光源以 θ 斜向入射光柵，用相機拍攝光譜

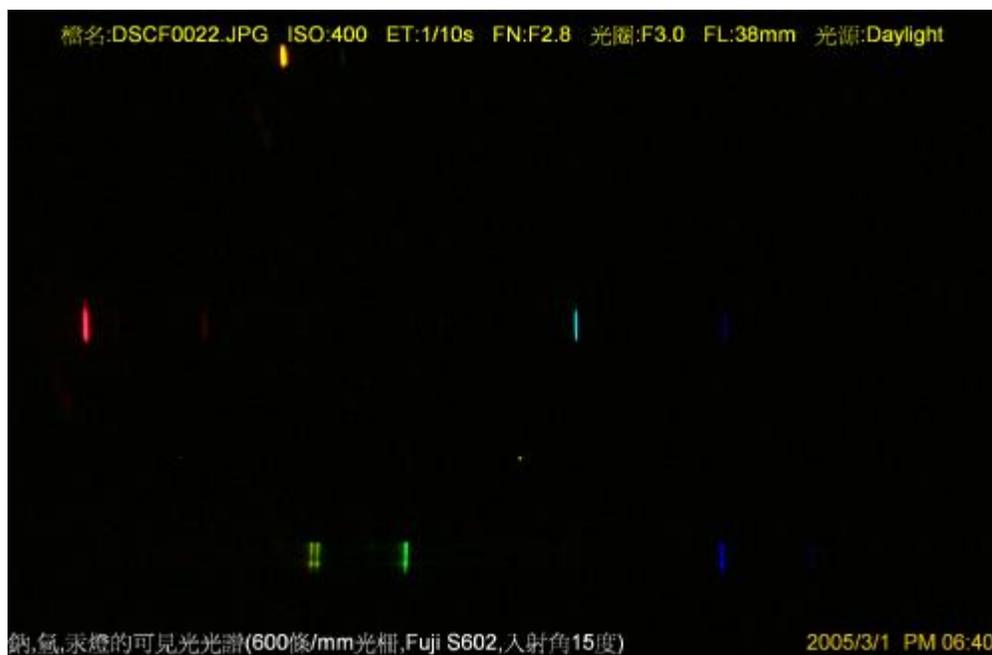
Pic.04：鈉、氫、汞燈垂直排列



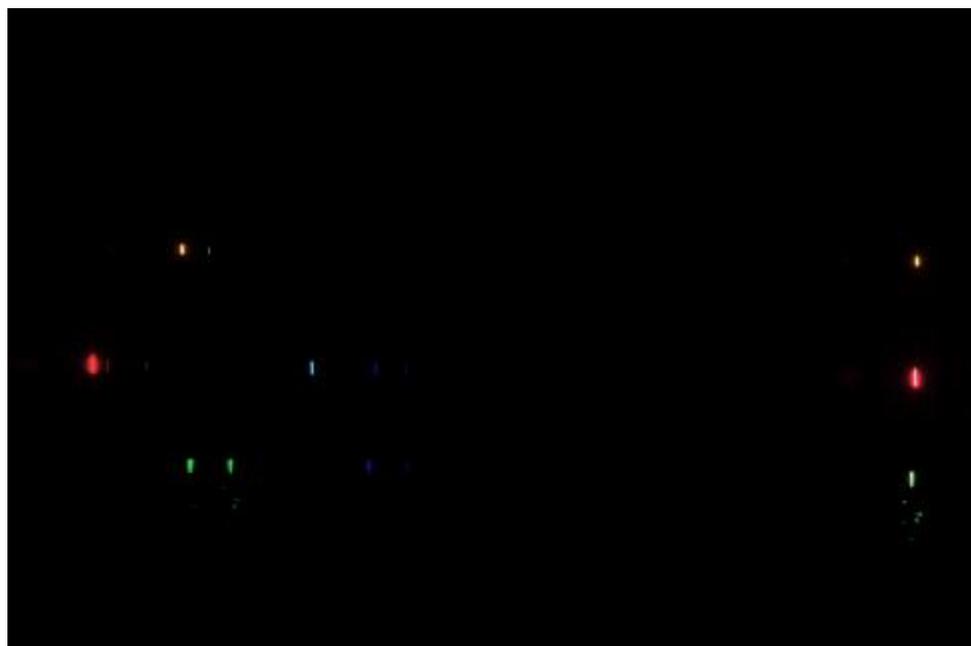
Pic.05：Fuji S602 數位相機與 600 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈「全光譜」(由上而下)



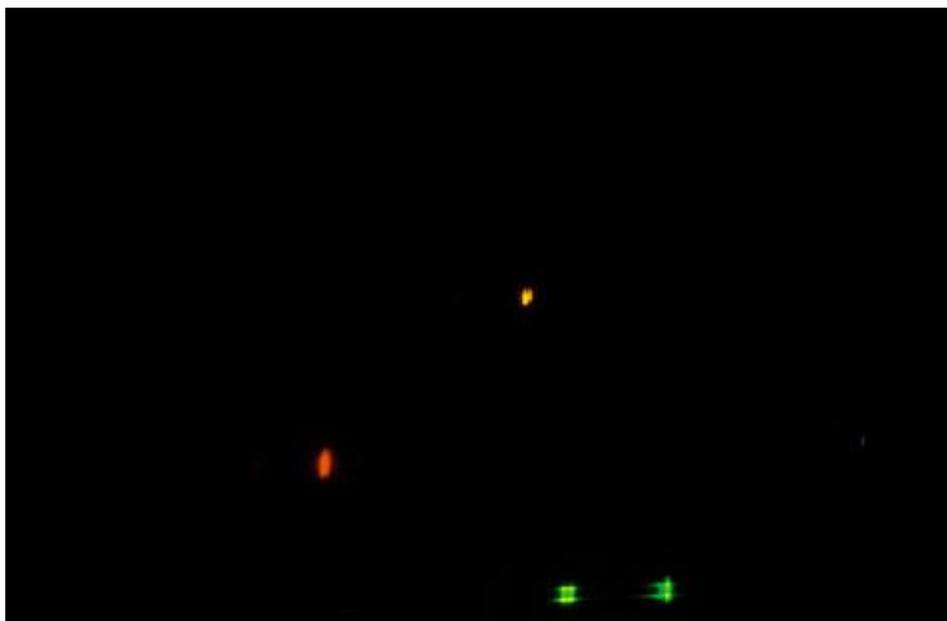
Pic.06 : Fuji S602 數位相機與 600 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈「半光譜」(由上而下)



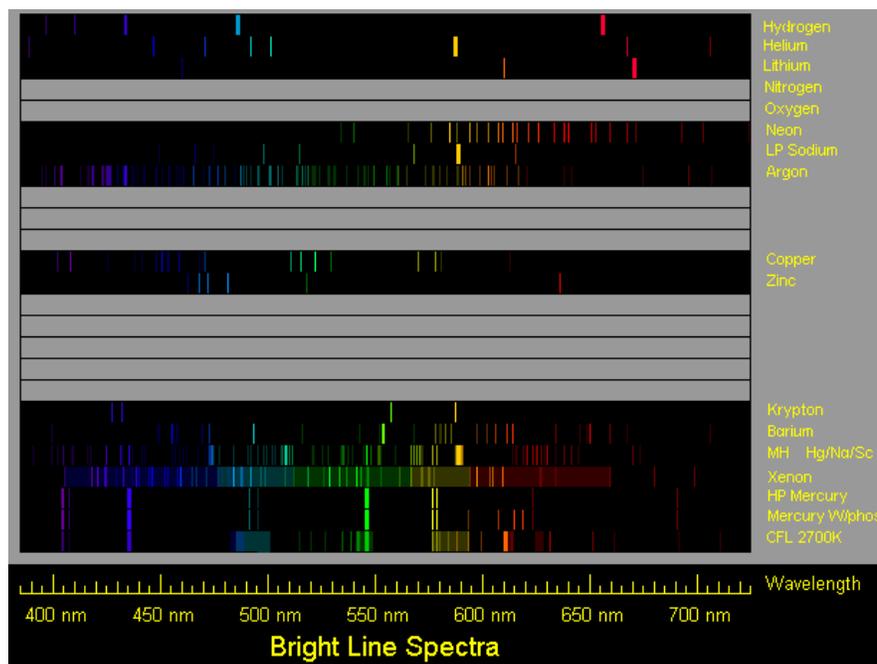
Pic.07 : Nikon FM2 相機與 600 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈「全光譜」(由上而下)



Pic.8：Nikon FM2 相機與 1200 條/mm光柵拍攝鈉燈、氬燈、汞燈「半光譜」(由上而下)



Pic.09：文獻上，許多原子光譜(包含氫、汞、鈉原子光譜)

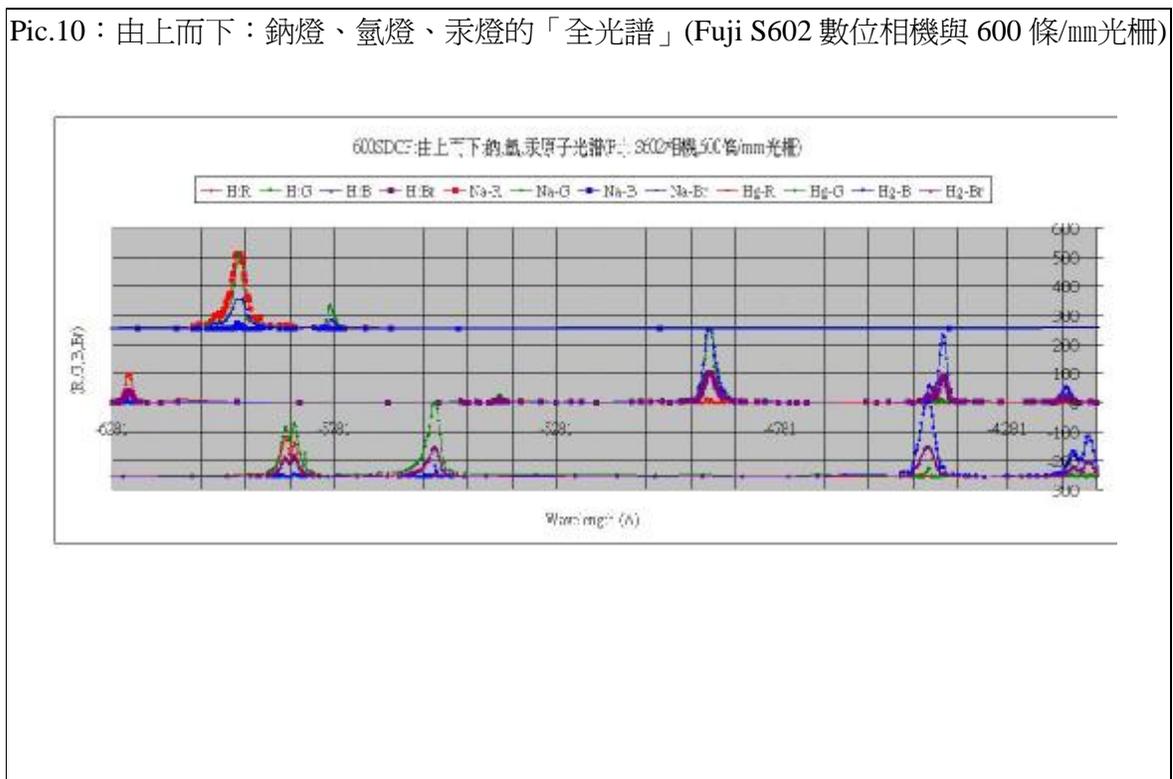


Tab.3：Fuji S602 數位相機與 600 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈^{4th}的「全光譜」。(Pic.10)

【檔名：600SDCF，光圈：7，快門：2s，感光度：400，焦距：18 mm，入射角：10°】

光源	顏色	紅	紅	黃	黃	綠	綠	藍	紫
H 已知	λ (Å)	6563				4861		4340	4102
	位置 x (格)	76.82				60.45		53.99	51.07
	(R, G, B)	(101,3,2)				(7,250,255)		(2,9,237)	(2,2,56)
	Br:明暗度	40				100		93	22
	等效距離 r	194.2				208.0		208.1	208.3
Hg 未知	位置 x (格)	未顯影		72.34	72.09	68.11	未顯影	54.35	50.58
	(R, G, B)	未顯影		(138,170,0)	(120,182,9)	(7,252,37)	未顯影	(1,30,255)	(3,3,137)
	Br:明暗度	未顯影		67	11	99	未顯影	100	54
	λ (Å 實驗)	未顯影		5891	5871	5556	未顯影	4443	4135
	λ (Å 理論)	6908	6563	5791	5770	5461	4916	4358	4078
	誤差(%)			1.7	1.8	1.7		1.9	1.4
Na 未知	位置 x (格)	未顯影		73.69		71.07	未顯影		
	(R, G, B)	未顯影		(255,251,2)		(0,79,0)	未顯影		
	Br:明暗度	未顯影		100		31	未顯影		
	λ (Å 實驗)	未顯影		5998		5791	未顯影		
	λ (Å 理論)	6175		5892 (平均)		5688	4978		
	誤差(%)			1.8		1.8			

Pic.10：由上而下：鈉燈、氫燈、汞燈的「全光譜」(Fuji S602 數位相機與 600 條/mm光柵)



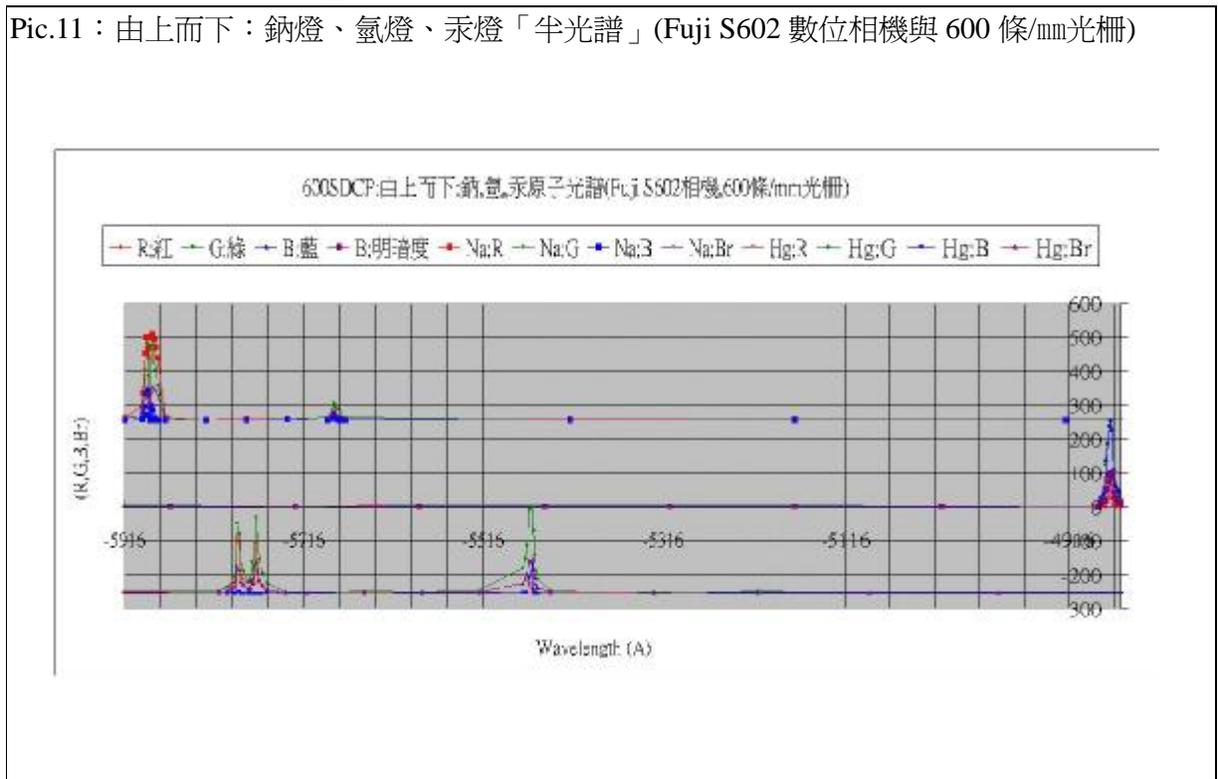
Tab.4 : Fuji S602 數位相機與 600 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈的「半光譜」(Pic.11)。

【檔名：600SDCP，光圈：3，快門：0.1s，感光度：400，焦距：38 mm，入射角：15°】

光源	顏色	紅	紅	黃	黃	綠	綠	藍	紫	
H 未知	位置 x (格)	79.55				36.21		23.55	未顯影	
	(R, G, B)	(12,4,2)				(65,255,255)		(0,2,107)		
	Br:明暗度	3				100		42		
	λ (Å 實驗)	6629				4879		4367		
	λ (Å 理論)	6563				4861		4343		4102
	$\Delta \lambda$ (Å)	66				18		24		
Hg 已知	位置 x (格)	未顯影		58.79	58.26	50.63	未顯影	23.78(?)	16.21	
	(R, G, B)	未顯影		(170,207,3)	(149,227,0)	(0,255,87)	未顯影	(4,9,251)	(0,0,70)	
	Br:明暗度	未顯影		81	89	100	未顯影	98	27	
	λ (Å 理論)	6908	6563	5791	5770	5461	4916	4358	4078	
	$\Delta I / \Delta x$	未顯影		39.62	40.50	41.08	未顯影	37.00		
Na 未知	位置 x (格)	未顯影		61.3	61.26	56.12	未顯影			
	(R, G, B)	未顯影		(246,212,78)	(244,228,89)	(24,51,18)	未顯影			
	Br:明暗度	未顯影		96	96	20	未顯影			
	λ (Å 實驗)	未顯影		5890	5885	5683	未顯影			
	λ (Å 理論)	6175		5896	5890	5688	4978			
	$\Delta \lambda$ (Å)				-5	-5				

* 馬賽克 $\Delta x = 0.07$ ，由 $\frac{\Delta I}{\Delta x} \cong 39.55$ ，最小波長單位 $\Delta \lambda \cong 2.8 \text{ \AA}$ ，**恰可鑑別**鈉雙線。

Pic.11：由上而下：鈉燈、氫燈、汞燈「半光譜」(Fuji S602 數位相機與 600 條/mm光柵)

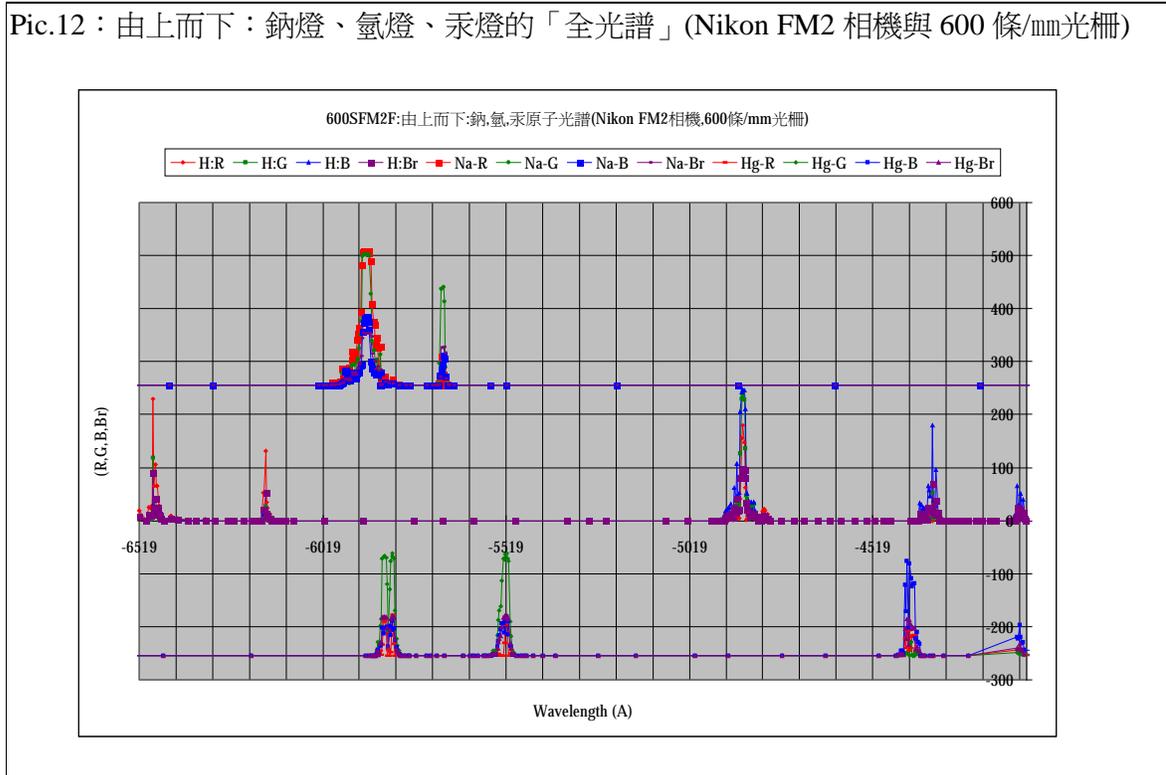


Tab.5：Nikon FM2 相機與 600 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈的「全光譜」(Pic.12)。

【檔名：600SFM2F，光圈：11，快門：15s，感光度：50，焦距：80 mm，入射角：10°】

光源	顏色	紅	紅	黃	黃	綠	綠	藍	紫
H 已知	λ (Å)	6563				4861		4340	4102
	位置 x (格)	70.12				52.34		46.76	44.29
	(R, G, B)	(230,119,28)				(179,237,247)		(0,53,179)	(16,10,66)
	Br:明暗度	90				97		70	26
	等效距離 r	177.27				180.08		180.26	180.61
Hg 未知	位置 x (格)	未顯影		63.1	62.81	59.46	未顯影	47.51	44.22
	(R, G, B)	未顯影		(68,189,53)	(77,193,66)	(0,183,62)	未顯影	(48,5,178)	(10,4,58)
	Br:明暗度	未顯影		74	76	72	未顯影	69	23
	λ (Å 實驗)	未顯影		5850	5830	5527	未顯影	4426	4119
	λ (Å 理論)	6908	6563	5791	5770	5461	4916	4358	4078
	誤差(%)			1.0	1.0	1.2		1.6	1.0
Na 未知	位置 x (格)	未顯影		63.52		61.26	未顯影		
	(R, G, B)	未顯影		(253,247,121)		(22,185,57)	未顯影		
	Br:明暗度	未顯影		99		73	未顯影		
	λ (Å 實驗)	未顯影		5894		5690	未顯影		
	λ (Å 理論)	6175		5893 (平均)		5688	4978		
	誤差(%)			0.02		0.03			

Pic.12：由上而下：鈉燈、氫燈、汞燈的「全光譜」(Nikon FM2 相機與 600 條/mm光柵)



Tab.6：Nikon FM2 相機與 1200 條/mm光柵拍攝鈉燈、氫燈、汞燈的「半光譜」(Pic.13)。

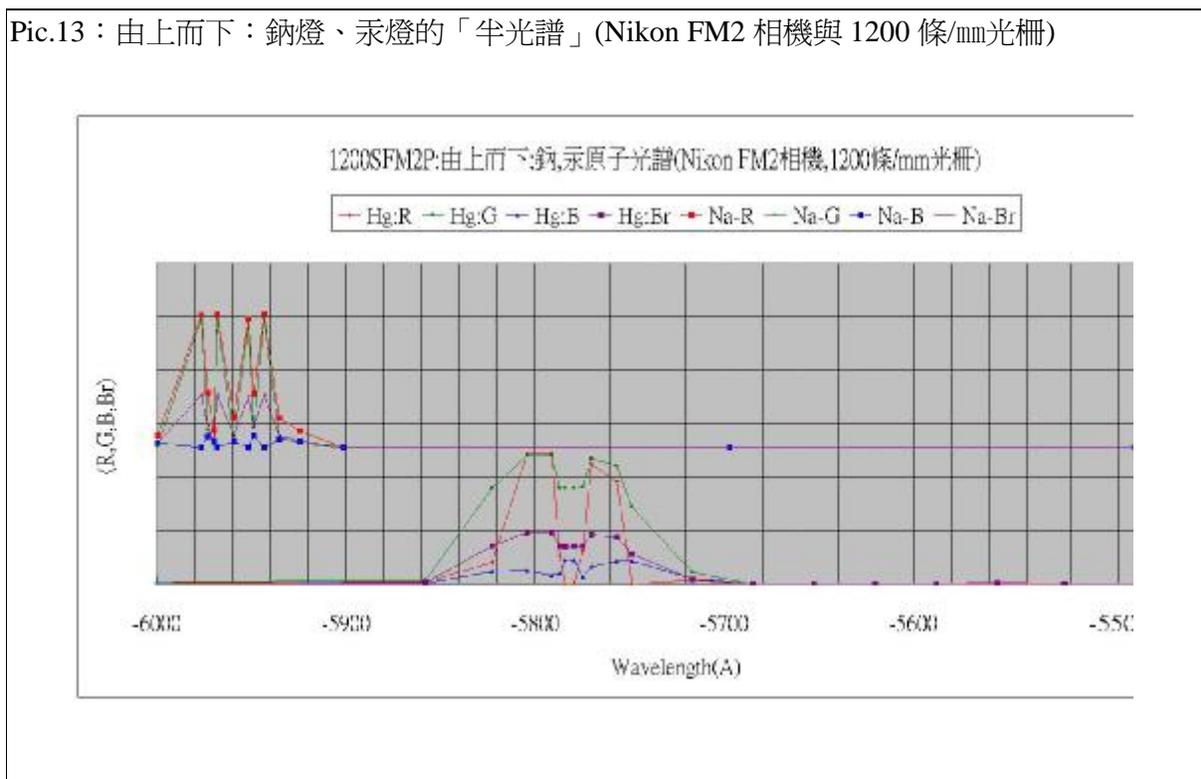
【檔名：1200SFM2P，光圈：11，快門：60s，感光度：50，焦距：90 mm，入射角：46°】

光源	顏色	紅	紅	黃	黃	綠	綠	藍	紫
Hg 已知	位置 x (格)	未顯影		34.77	34.35	28.08	25.74 (?)	未顯影	未顯影
	(R, G, B)			(245,241,17)	(225,234,33)	(5,10,3)	(250,242,16)		
	Br:明暗度			96	92	4	98		
	λ (Å 理論)	6908	6563	5791	5770	5461	4916	4358	4078
	$\Delta I / \Delta x$			50.00	49.28				
Na 未知	位置 x (格)	未顯影		38.01	37.84	未顯影			
	(R, G, B)			(241,233,0)	(250,241,0)				
	Br:明暗度			95	98				
	λ (Å 實驗)			5952	5943				
	λ (Å 理論)	6175		5896	5890	5688	4978		
	$\Delta \lambda$ (Å)			9					

* 拍到鈉雙線「分光後全反射的橫向位移」，變成四條線，下圖右邊兩條為真。

* 馬賽克寬 $\Delta x = 0.06$ ，由 $\frac{\Delta I}{\Delta x} \cong 49.64$ ，最小波長單位 $\Delta \lambda \cong 3 \text{ \AA}$ ，恰可鑑別鈉雙線。

Pic.13：由上而下：鈉燈、汞燈的「半光譜」(Nikon FM2 相機與 1200 條/mm光柵)



[實驗 4]自製攝譜儀 (Fig.4) 鑑別鈉雙線^{2nd}：

鏡筒內置凸透鏡 DCL-52，其焦距 75 mm處放 0.5 mm狹縫，則鈉燈垂直入射 1200 條/mm光柵，鏡筒以光柵為圓心可靈活轉動，於繞射角 $\alpha \cong 44^\circ$ 放置相機，拍攝光譜。

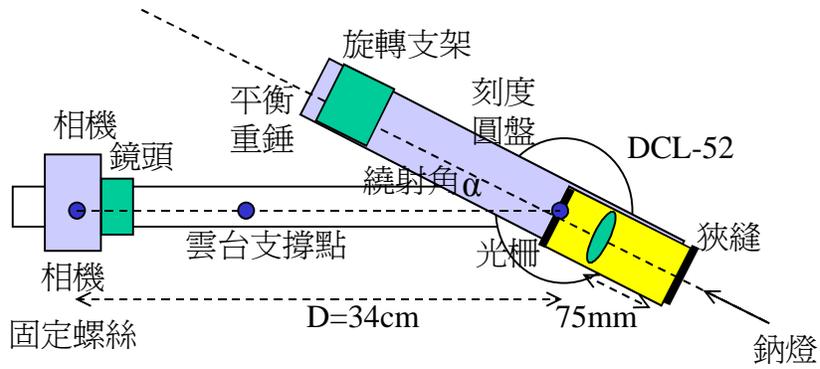


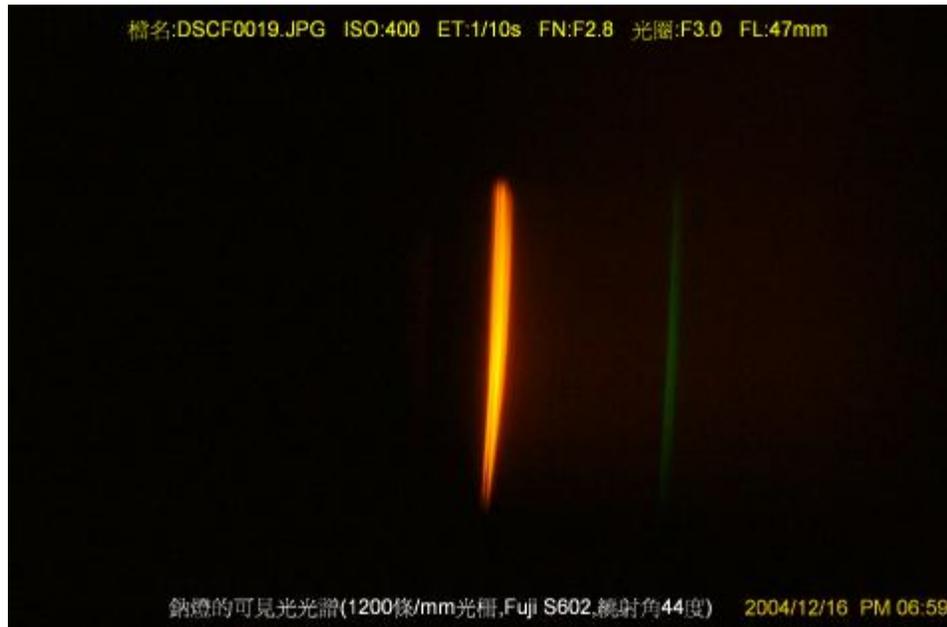
Fig.4 自製“攝譜儀”

(Tab.7)由顏色座標(R, G, B,Br)鑑別鈉雙線 5896, 5890 Å, 綠光 5688Å 位置 x_1, x_2, x_3 ,

$Q \frac{\Delta I}{\Delta x} \cong \text{定值}$, 計算鈉雙線 $\Delta \lambda$ 。

相機	顏色	黃(5896 Å)	黃(5890 Å)	綠(5688 Å)
Fuji S602 數位相機	位置 x (格)	40.73	40.27	24.9
	(R, G, B, Br)	(255,138,4,100)	(255,163,4,100)	(21,32,0,13)
	$\Delta \lambda$ (Å)	6.04		
Nikon FM2 單眼相機	位置 x (格)	24.18	23.97	16.5
	(R, G, B, Br)	(224,179,0,88)	(247,239,0,97)	(10,52,18,20)
	$\Delta \lambda$ (Å)	5.68		

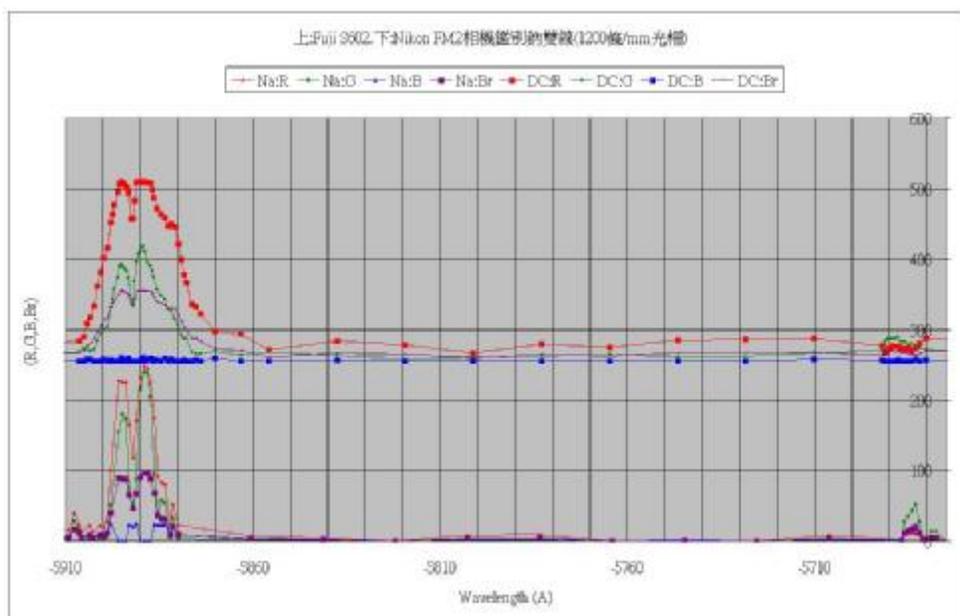
Pic.14 : Fuji S602 數位相機, 1200 條/mm光柵鑑別鈉雙線(1200NDCNa)



Pic.15 : NikonFM2 相機，1200 條/mm光柵鑑別鈉雙線(1200NFM2Na)



Pic.16 : 鑑別鈉雙線：上圖 Fuji S602，下圖 Nikon FM2 與 $f:28-85$ mm標準鏡頭



五、討論

- [實驗 1]、[實驗 2]：由雷射（已知波長）印證光源正射、斜射光柵的繞射公式正確。
 - [實驗 3]：拍攝「全光譜」測量未知光譜部分
 - 【1】小光圈可減少球面像差。Nikon 標準鏡頭用光圈 11，平均誤差 1.2%，數位相機的光圈 3，平均誤差 1.7%。
 - 【2】必須以中央亮點為原點，測量光譜距離 x ，才可推算對應的繞射角 α 、測量未知波長 λ ，誤差小於 2%。
 - 【3】鈉原子應有兩條微弱綠色光譜 5688、5682 Å，以照片上較明亮 5688 Å 作計算。
 - [實驗 3]：拍攝「半光譜」，鑑別相差 6 Å 的鈉雙線，是高難度的挑戰
 - 【1】相當於從 10 cm 寬的照片，肉眼鑑別相距 0.2 mm 的細線，繞射角 0.058° 。
 - 【2】馬賽克寬度 Δx ，相當於最小波長單位 $\Delta \lambda \doteq 3 \text{ \AA}$ 。理論上只要 3 條已知波長的光譜線，恰可鑑別鈉雙線 $\Delta \lambda \doteq 6 \text{ \AA}$ 。
 - 【3】光柵的結構（如右圖），為鍍膜的透射光柵夾在兩玻璃之間，當光源斜向入射 1200 條/mm 光柵，雖然光譜分離清楚，但鈉雙線繞射角 45° ，大於玻璃光柵的臨界角 41° ，很容易拍到「分光後全反射的橫向位移」變成 4 條線 (Pic.12)。
- The diagram illustrates the structure of a grating. It shows an incident light source (入射光源) hitting a grating (光柵) at an angle. The light is reflected (反射) and passes through a glass (玻璃) layer. The grating is coated with a thin layer (鍍膜). The diagram shows the first diffraction (第一次分光) and the horizontal displacement (分光後全反射的橫向位移) of light after total internal reflection.
- Fig.5 光源入射光柵示意圖
- [實驗 4]：光源垂直入射光柵：可減少第二次分光的橫向位移，用 1200 條/mm 光柵可鑑別鈉雙線 (Pic.13,14)
- 顏色座標 (x, R, G, B, Br) 方面：
 - 【1】顏色座標有 (R,G,B,)，(H,S,Br)，其中 H:色相，S:飽和度，對於判斷光譜光譜位置幫助不大。(R,G,B) 數值從 0~255，明暗度 Br 數值從 0~99。
 - 【2】即使不同電腦，判讀照片中同一個馬賽克，其顏色座標 (R,G,B,Br) 都相同，具有客觀參考價值。
 - 【3】鈉雙線（黃色）與鄰近點比較，其明暗度相對較大、藍色（互補色）相對較小，可判斷光譜位置。
 - 【4】數位相機的「白平衡」可調整影像顏色，幻燈片用不同掃描機，其數位影像的顏色座標 (R,G,B,Br) 也會改變，只能用平均值表示光譜顏色。
- 數位相機與傳統相機感光原理不同，將拍攝光譜（單色光）的波長 λ 對應顏色座標 (R,G, B, Br)，用平滑曲線作圖 (Pic.17,18)，並列表比較 (Tab.8,9,10)。

Tab.8：數位（傳統）相機拍攝鈉、氫、汞原子「光譜數位資料庫」

原子光譜	波長(Å)	Fuji S602 數位相機 (光圈:7, 快門:2s, 感光度 400)				Nikon FM2 相機 (光圈:11, 快門:30s, 感光度 50)				文獻
		R(紅)	G(綠)	B(藍)	Br(明亮度)	R(紅)	G(綠)	B(藍)	Br(明亮度)	
Hg5	4078	2	2	104	41	10	4	58	23	150
H4	4102	2	2	56	22	16	10	66	26	15
H3	4343	1	6	172	68	0	53	179	70	30
Hg4	4358	3	20	253	99	48	5	178	69	4000
H2	4861	36	253	255	100	179	237	247	97	80
Hg3	5461	4	254	62	100	3	97	33	38	1100
Na4	5688	15	54	6	21	18	90	25	35	9
Hg2	5770	153	205	5	50	151	214	50	84	240
Hg1	5791	154	189	2	74	157	215	35	84	280
Na2	5890	250	196	47	98	249	240	0	98	32
Na1	5896	251	175	41	98	233	206	0	92	16
H1	6563	57	4	2	22	230	119	28	90	180

Tab.9:數位（傳統）相機拍攝氫、汞、鈉光譜波長(單位 Å)與顏色座標(R, G, B, Br)比較。

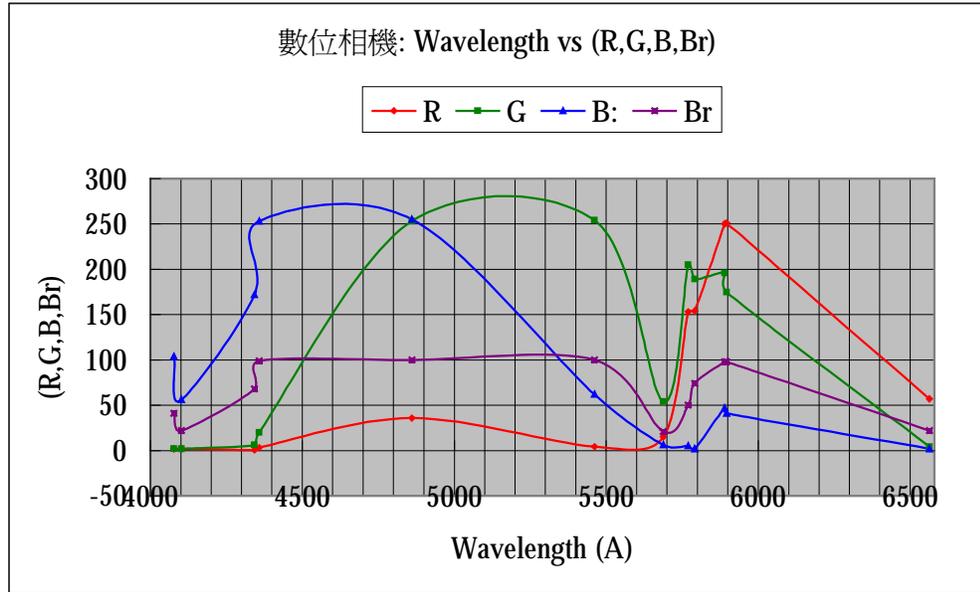
	R(相對極大)	G(相對極大)	B(相對極大)	Br(60 以上)	Br(相對極小)
數位相機 Fuji S602	5896	5770、5150	4600	5461~4358	6563、5688、4102
傳統相機 Nikon FM2	5890	5890、4900	4770	4358~6563	5688、4078

- 【1】由上圖發現：R(紅)與 B(藍)互相消長。G(綠)有 2 個相對極大，其 Br 也相對極大。
 【2】數位相機在紅光 6563Å，亮度減弱，傳統相機則亮度不變，其紅光顯影優於數位相機。
 【3】兩種相機在紫光 4102Å 均亮度減弱。
 【4】每種光源的功率不同，其光譜強度 Intensity 與 Br(明亮度)沒有直接關係。

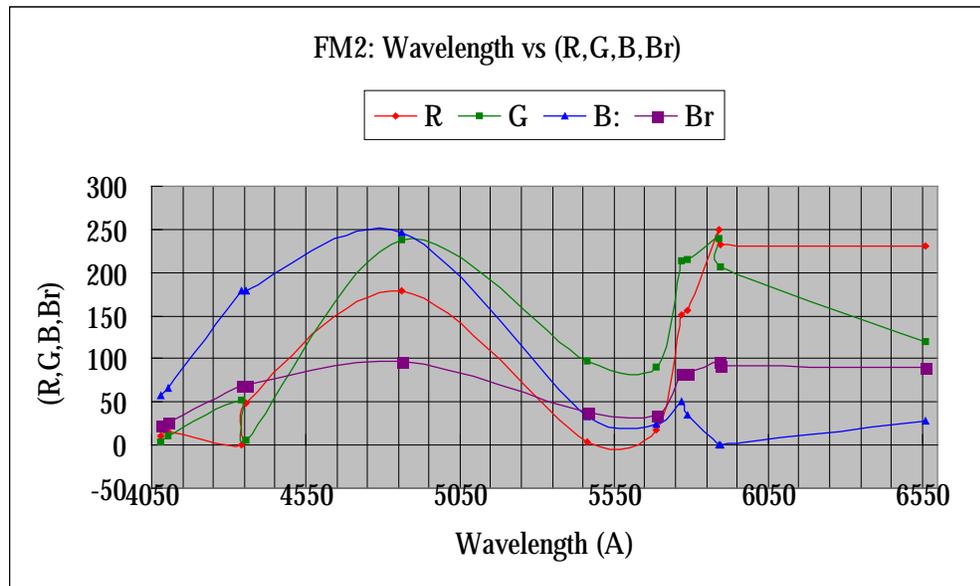
Tab.10: 比較數位相機與傳統單眼相機拍攝光譜的優缺點

項目	400 萬畫素數位相機 (Fuji S602)	傳統單眼相機 (Nikon FM2)
優點	1. 可即拍即看，修正攝影參數。 2. 方便影像處理，省錢。 3. 廣角、近拍靈活調整。 4. 鏡頭較少、厚度較薄，可減少「分光後全反射的橫向位移」	1. 必須沖洗底片，掃描底片。 2. 底片面積大，顆粒極細，光線容易入射。 3. 可長時間曝光，光圈 11，球面像差較小，能拍攝精細光譜。
缺點	1. 400 萬畫數，畫質仍不夠細。 2. 感光 CCD 面積很小，將深紫色、紅色濾光(不清楚)。 3. 曝光時間最多 3 秒鐘，光圈 3，球面像差較大。	1. 專業底片費用很貴。 2. 無法預覽，不易對焦，失敗率高。 3. 必須不斷修正攝影參數。 4. 鏡頭的透鏡較多，用 1200 條/mm 光柵容易拍到「分光後全反射的橫向位移」

Pic.17：數位相機 Fuji S602:波長 vs (R,G,B,Br)平均值 作圖



Pic.18：Nikon FM2 相機:波長 vs (R,G,B,Br)平均值 作圖



六、 實驗結論

1. 同時拍攝許多光源的光譜，由已知光譜的相對位置，可求得未知光譜的波長，誤差小於 2%。
2. 拍攝光譜技巧：
 - 【1】數位相機拍攝光譜較方便，傳統相機使用 50 度正片，色彩表現較佳。
 - 【2】為減少球面像差，增加景深，用光圈 11，曝光時間約 30 秒，能鑑別很細的光譜。
 - 【3】若要測量光譜波長，光源斜向入射 600 條/mm 光柵，很容易拍攝光譜。
 - 【4】若要拍攝精細光譜，使用自製「攝譜儀」，光源正射 1200 條/mm 的光柵，能鑑別相差 6Å 光譜線。
3. 推廣應用：
 - 【1】自製攝譜儀只用平常的攝影器材，費用不到 3 萬元，很適合高中物理光學實驗。
 - 【2】光譜影像轉成(x, R, G, B, Br)可精確至馬賽克，鑑別度提高為 3 Å，比肉眼鑑別更精準。
 - 【3】天文學家常由光譜的顏色、相對位置搜尋可能對應的波長，鑑別可能的元素（化合物）、測量該光譜線的位移。所以「原子光譜數位資料庫」具有應用價值。

七、 參考資料

編號	內容	頁數
1.	Frank. L.Pedrotti, S.J.Leno., S. Pedrotti. , 'Introduction to Optics' " 2 nd edition (Prentice Hall, US 2001)	351
2.	R. A. Serway and J. W. Jewett, 'Principles of Physics' 3 rd edition (Harcourt, Singapore 2002)	1007 1024
3.	Alan Corney. , 'Atomic and Laser Spectroscopy' (CLARENDON PRESS. , OXFORD 2000)	430 583
4.	大學物理學, 2e , Book4 "波動與光學" 清華大學出版社, 張三慧 著.	188
5.	Weast 'CRC Handbook of Chemistry and Physics' 60 th edition	E260、277、314

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 物理科

第二名、最佳創意獎

040107

數位影像分析可見光光譜

國立大里高級中學

評語：

本件以簡單的數位及傳統攝影機觀測原子光譜，並能將簡易狹縫置於攝影機前觀測多光源原子譜圖，且透過數位照片的明暗度分析來判斷譜圖間的相對強度。

以簡易的裝置，而能解析原子光譜，值得推廣為國高中實驗課之數據。