

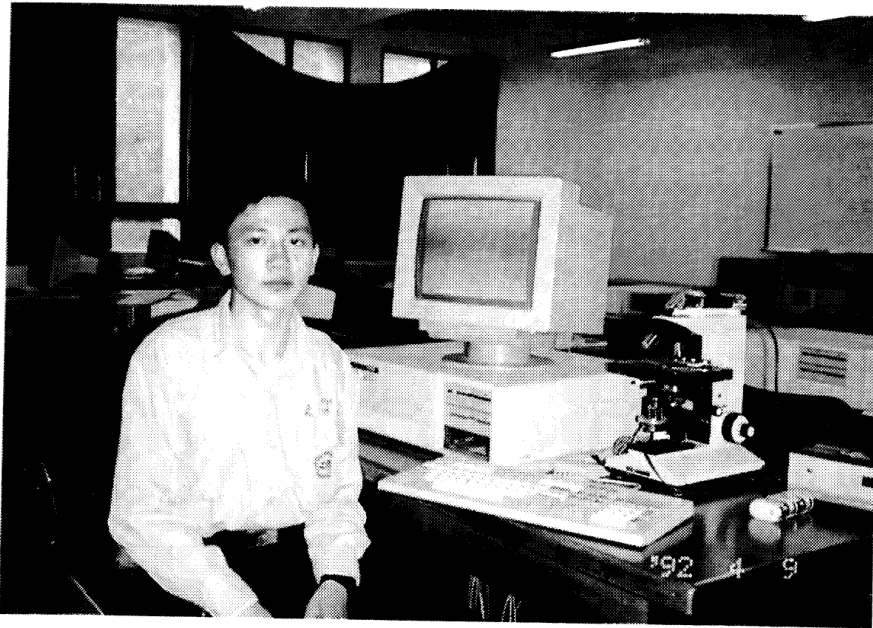
天體輻射

高中組地球科學科第一名

國立台灣師大附中

作者：李祥賢

指導教師：陳忠信



一、研究動機

平常我們所見到閃爍的星星，其實隱藏著許多資訊。從事了許久的天文研究也只是在觀測和攝影上。關於星星的亮度、溫度等性質書上一向資料不全。爲了深入了解遙遠的它們，我決定自己進行研究，利用光譜來分析天文資訊。

二、研究目的

利用多年天文攝影所累積的光譜底片，經由分析以得知天體的 λ_{\max} 星等，亮度、溫度、距離半徑比及光譜型等珍貴資料。建立資料庫後，即使未知恆星的光譜，也能判斷出它是什麼星。

三、研究設備

- (一)Laser：He-Ne Laser(5mw)波長 6328Å
- (二)Microscope：ZEISS 顯微鏡
- (三)Film：Kodak T-MAX 400
- (四)Telescope：FCT-76 望遠鏡

P2 赤道儀
天頂稜鏡
赤道儀之步進馬達

(五)IC：A/D 數位／類比轉換介面卡

實驗萬用卡

光敏電阻測壓電路（自製）

放大電路驅動馬達（自製）

(六)Computer：IBM PC／AT&XT 及 386 等各式電腦皆可

Super Scanner 主控程式（自製）

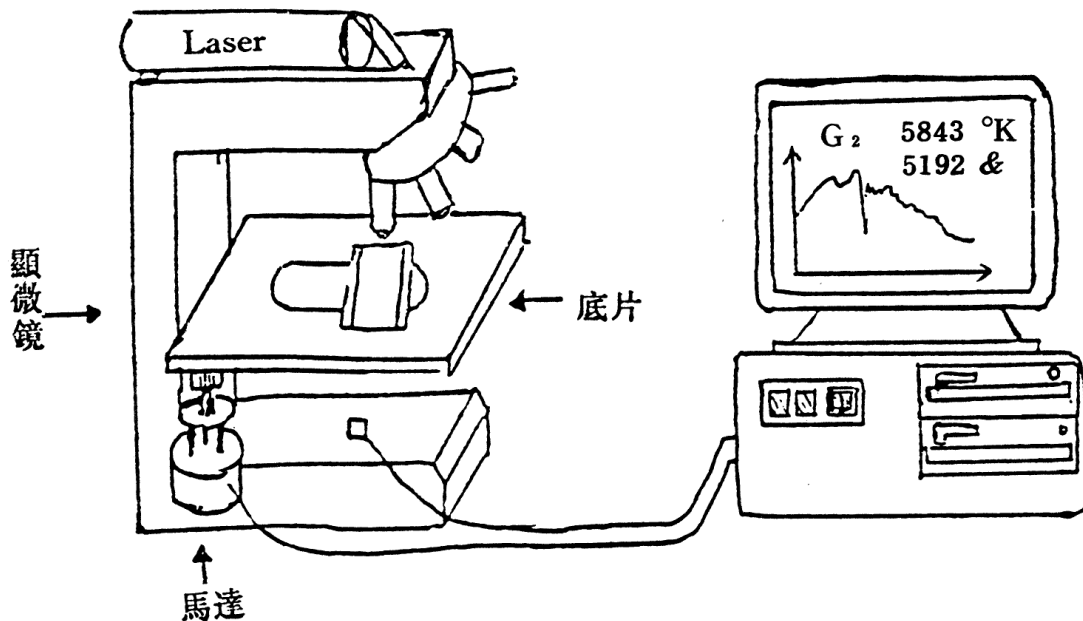
四、研究過程

(一)首先我們得知光譜上各波長的能量分析，利用先前拍好的光譜底片來進行分析。

(二)我特別製造了 Super Scanner。所利用的原理是把雷射光打在底片上。

(三)底片上愈深色的部分，表示所吸收到的光能愈多，雷射照到底片越深色的部分，透過底片的雷射光就愈少，用透過底片的雷射光強弱，即可得知底片上吸收多少光能。

(四)用程式驅動步進馬達使其轉動來移動底片，就可以測出底片不同部位吸收光能的強弱。



(五)底片上所吸收的光能，即為光譜上該波長的輻射能，用此可建立一張光譜的波長——能量分布圖。

(六)以上所得到的各波長輻射能尚須經過極複雜的修正及推算，便可得到天體的珍貴資料。

五、實驗結果

結果推測：

在 Super Scanner 掃描之後，可以分析其數據，以獲得珍貴的資料。

(一) λ_{\max} 由 Scan 後產生的普朗克曲線推算出 λ_{\max}

(二) 表面溫度及顏色

在知道 λ_{\max} 之後，利用 Wien's Law

$$\lambda_{\max} (\text{cm}) \doteq 0.29/T$$

再看 T 的所在顏色，就是該星球目視顏色。

(三) 視星等

在 (六、討論中得知) 電壓轉換之後的亮度累加起來，就是實際的亮度。

$$B = \sum_{i=0}^n B_i \text{ 再利用原式}$$

$$B = \frac{1}{m + 26.74} \times \text{太陽常數} \times \text{Laser Area} \doteq (0.3)^2 \text{mm}$$

100

即可求出該星球的視星等 m。

(四) 光譜型

利用前面求的 T 值推算光譜型。

O	40000°K
B	15000°K
A	9000°K
F	7000°K
G	5000°K
K	4000°K
M	3000°K
C	2000°K

(五) 絕對星等 M

我們只須另外得知星球的距離 d 後，便可作以下推算。

$$m - M = 2.5 \log \frac{L}{4 \pi (10)^2}$$

$$M = m + 5 - 5 \log d$$

(六) 距離推算

在前面我們所得到 B 是恆星輻射到地球時，地面每 $\text{cm}^2 \times \text{min}$ 的受能。

利用史蒂芬·波茲曼定律

$$I = \sigma T^4 \quad \sigma = 76.8 \times 10^{-12}$$

I 之單位為 $\text{cal} / (\text{cm}^2 \times \text{min})$

求得的是該恆星表面每 cm^2 所輻射出來的能量。

$$L = I \times 4 \pi r^2$$

$$L = B \times 4 \pi d^2$$

兩式相除可得恆星半徑與距地之比為 r/d

由於目前已知最大的紅巨星直徑也不過是 500 光秒，所以 r/d 必定是個極小的分數， r 的變化本身就不大，所以可以給 r 一個估計值，就可以求出準確的距離。

(七) 質量、壽命

利用光度來求

$$L = C \times M^{3.5}$$

$$J = C \times (M/L)$$

(八) 密度、光度

光度可由

$$L = B \times 4 \pi d^2 \text{ 反推而得。}$$

密度即為

$$d = M/V$$

六、討論

在研究的過程中因為產生些許的誤差，因此做了以下的修正。

掃描後誤差修正：

(一) 底片修正：

倒易律失效

一般常識中，曝光時間越長底片所能吸取的能量越大，即

$$E = I \times T \quad I: \text{照度} \quad T: \text{時間}$$

但事實上此種關係並非成正比，曝光時間越長底片的感應會越遲鈍。此即倒易律失效

$$E = T^p \times I$$

但 P 值隨底片而改變，並無規則可循，所以我們建立一個資料庫，把已知亮度的星體以 $T_{\max} = 400$ 及 20 sec, 40 sec, 60 sec, 2 min, 20 min 拍攝下來，再以製造的 Super Scanner 來得知倒易律失效下拍攝的結果。

此資料庫同時修正了：

1. 倒易律失效
2. 曝光時間長短
3. 便於推測視星等

(二) Super Scanner 數值電壓與亮度的轉換

Scanner 掃描出的結果是電壓（各波長的電壓），想要把電壓（相對值）轉換成亮度及光度，就要先核對上一項所建立的倒易律失效的修正資料庫，把 voltage → 視星等。

接下來要把視星等轉成單位面積光度，我所用的比對是太陽。

太陽的視星等是 -26.74

太陽常數 $1.9613 \text{ cal/cm}^2 \times \text{min}$

太陽常數是地球上每 cm^2 每分鐘所能接收到的太陽輻射能。

而下列式中是求出地球上每 $\text{cm}^2 \times \text{min}$ 所能接受到的星等 m 等天體的輻射能。

$$\text{太陽常數} \times \frac{1}{100 \frac{m+26.74}{5}} \times \text{雷射光面積} = E$$

事實上，E 為該波長的輻射能。

1. 太陽光度為已知，即

$$\begin{aligned} \text{光度} &= \text{太陽常數} \times 4 \pi d^2 \\ &= 3.826 \times 10^{33} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

$$d = 1 \text{ AU}$$

2. m 等星亮度

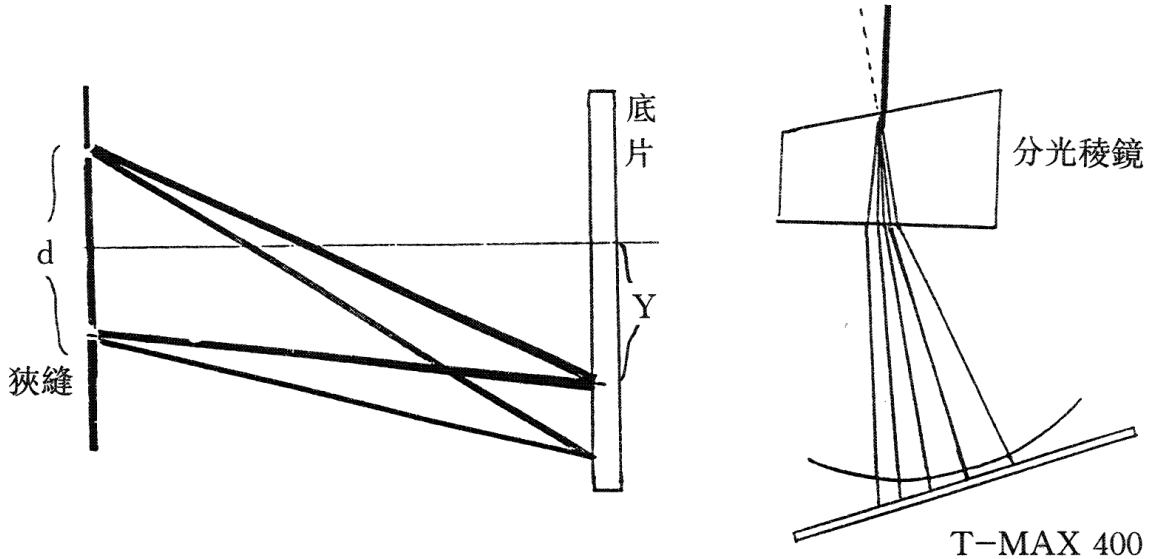
$$1.96 \times \frac{1}{100 \frac{m+26.74}{5}}$$

將星球各波長的 E 累加起來就是該星球的全輻射能 / cm^2 （亮度）

(三)光柵干涉

$$\text{亮紋 } Y = m \times \frac{r \lambda}{d}$$

干涉會使得各波長在底片上分布不均勻，只要將不同的波長代入上式，就知道投射在底片上的位置。



(四)分光稜鏡的折射

分光稜鏡的修正示意圖如右圖

玻璃對各色光的折射率

紅	橙	黃	綠	藍	紫
1.513	1.514	1.517	1.519	1.528	1.532

此外該注意的是底片是平面的，並非捲曲圓弧，在討論時是不可忽略的。

(五)鏡片非 100% 的透光

FCT-76 望遠鏡是用三片螢石製造的高度消色差儀器，但不論螢石或其他玻璃都會散射或吸收光線，各種鏡片的透光率列表如下：

鏡片	透光率%	散光率%
BK	70	0.615
螢石	85~95	0.537
ED	81~84	0.54

(六)望遠鏡的其他修正

1. 口徑—

口徑是影響光能的主因之一，由於先前的資料是以 76mm 之 telescope 求出

，所以修正以 76mm 為基準。

$$\text{光能} \propto (\text{口徑})^2$$
$$E' = E \times \frac{d^2}{76^2}$$

2. 焦距—

焦距是影響「影像」面積，但是 Scanner 可用 ZEISS 顯微鏡的微調來調整雷射光的粗細，使其與光譜等粗。所以焦距無須修正。

3. 球面差、色差、畸變像差、彗尾像差—

這些都與望遠鏡的好壞有關，FCT 已用三片主鏡來修正，算是影像效果極佳之折射望遠鏡，在此不多作修正。

(七)在先前我已修正過倒易律失效，但是在拍攝時，底片上的粒子濃度到一定程度就會向外擴散，而光能也隨之分散。

前面提過，要使用顯微鏡的原因之一便是有微調，調整焦距。只要微調使雷射粗細和擴散後的光譜一樣寬，所以 Scan 到的便是正確值，不因擴散而有誤差。雷射調整後光束直徑為 0.3mm。

七、結論

應用於天文觀測上

(一)一般恆星—

一般恆星的光度、距離等在五、中（結果）已求過。

(二)變光星—

定時拍下變光星的底片由資料庫中直接知道視星等，加以記錄以便於了解光度變化。

(三)雙星—

利用 Scanner 的細微掃描線，可以辨出肉眼看不到的雙星。

(四)光害與極限星等

修正光害的方法就是用雷射測光譜部分的星等，並測其電壓，再換成星等。待開始 Scan 的電壓都要減去光害造成的。而光害造成的星等也就是極限星等。

八、參考資料

(一)高級中學基礎地球科學

(二)地球科學概論

(三)Sky Watch

(四)Star Catalog 2000.0

(五)天文年鑑 1992

(六)IBM PC 自動控制實務設計

(七)Optics

(八)Sky Globe

評語

利用光敏電阻將攝影光譜量化，利於分析研究建議在波長的校準及光譜拍攝的技術上更做改進，應利用已知光源的光譜做校正。