

星等測定

高中組地球科學科第一名

國立師大附中

作者：張立元、邱廷英

指導教師：陳忠信

一、研究動機

從事了很久的天文觀測和天文攝影，但對於星星的認識還是停留在觀測和攝影上，對於星星的光度、距離、溫度等物理性質除了書本上已有的資料外，其餘的就一無所知了。爲了更進一步了解那遙遠的它們，我決定從最簡易的星等測定做起。

二、研究目的

測量星星的星等，並求出一些和星等有關的物理量，同時做出底片的影像處理系統，將星等不同的地方著上不同的顏色。

三、研究設備器材

1. TAKAHASHI P-2S、90 S 赤道儀，FCF-76, MT-130 鏡筒。
2. Kodak TMAX 400 底片、專用顯影液、底片沖洗設備。
3. Nikon EL 相機、快門線。
4. Vixen GA-4 導星用設備。
5. ZEISS 顯微鏡，K 25mm 目鏡。
6. 雷射。
7. IBM PC/AT 電腦 (VGA) 及 QB 軟體設備。
8. PC-201 介面卡。
9. 電錶一只，排線 (16 pin) 一條。
10. HD-4 及 MD-6 步進馬達。
11. 光電池、光敏電阻、光電二極體。

四、研究過程與方法

(一) 思路：

- 1.底片由透明膠片製成的片基及由鹵化銀（ AgCl ， AgBr ）等構成的感光膠膜所組成，當底片感光後鹵化銀中的 Ag 經顯影處理後便沈澱留在底片上，經顯微鏡的觀察後發現底片上光化學反應越完全，則不透光銀原子濃度越大，透光率越低，由此可知拍攝天文照片時星點在底片上影像的濃度和星光強弱及曝光時間有關。
- 2.由 1.可知，只要將改變星星在底片上成像強弱的變因都加以控制，在知道曝光時間及底片上銀原子的濃度後，就可以知道星星的亮度了。
- 3.當銀原子的濃度越大時，底片膠膜透光率越低，而底片透光率 = 片基透光率 \times 膠膜透光率，故和片基透光率有關，因此測定膠膜透光率時，應先測出膠膜透光率，測底片透光率可用雷射光穿透底片上星點像後以其亮度強弱的變化求出影響望遠鏡在焦平面上星點成像的亮度之因素。

(二)測量底片濃度儀器的製作：

1.目的：

將雷射光透過星像後，用光電池把光能轉換成電能，量取電壓大小的變化，可推知底片濃度大小，或用光敏電阻，以電阻大小推知底片濃度。

2.製作過程：

(1)爲了能將星點像納入視野中央，則在目鏡焦平面上設置十字線，爲了使倍率不致過高，取 $F = 25 \text{ mm}$ 的 K 型目鏡製作，配合 $3.2 \times$ 的接物鏡使倍率爲 $32X$ 。

(2)爲了能同時使用顯微鏡找尋底片上的星點和射入雷射，並防止雷射傷害眼睛，故設計了以下設備：

裝上一傾斜平面鏡，使 68% 光反射， 28% 光透射，C 處接物鏡、B 處接目鏡，可使顯微鏡的像不致過於暗淡，A 處接 Laser，可使雷射打過目鏡十字線交點上的星點，且不致射入眼睛；爲保護眼睛，在目鏡中加上綠色濾鏡（因 He-Ne 雷射波長 6328 \AA ）

(三)測光部分儀器製作：

1.以光電二極體測量：

光電二極體（A/W）線性極佳，在 25°C 以 He-Ne 雷射照射可得 0.42 A/W 之比例，但雷射功率極低，故需放大電路。

2.室內的燈及日光照射均對測量結果有直接影響，故本實驗必須在暗房中操作。

(四)資料的建立：

1.目的：

建立各種星等對底片濃度的資料，以便比對出未知星星之星等，並建立曝光時間對底片濃度的關係。

2. 建立過程：

(1) 拍攝目標的選擇：

爲了在最短的時間內拍下最多不同星等的星星，拍攝的目標便選了星團爲目標，又球狀星團星星過於密集，不適合個別做測定，故選了明亮又較疏散的昴宿星團（M45）爲拍攝目標。

(2) 爲了建立各種曝光時間和底片濃度的資料，所以必需以不同曝光時間攝取同一目標，以 FCT-76 + P-2S 以 TMAX 底片分別曝光 0、5、1、2、4、8、10、15、20、……（min），底片沖洗時溫度控制在 20°C，以 TMAX 專用顯影液顯影 7 min，定影 11 min。

(3) 取曝光時間爲 15 min 的底片爲基準量取濃度，以雷射光打穿底片後測其電壓，並配合該被測星點的星等同時輸入電腦，即可畫出一張星等一濃度表。

(4) 在比較未知星之星等和資料庫內已知星等時，由於人工比對太慢且不準，故設計了 MAG1（資料庫輸入之輔助程式）及 MAG2（比對星等的程式）兩程式，以便利星等之換算及比對。

(五) 製作 FILM SCANNER：

由於一顆一顆來測定星等實在太麻煩了，況且如要測定星雲、慧星等非點狀均勻之像，就不能沿用前法，故乾脆整張底片掃描一遍，並在電腦上繪出該底片濃度大小的分佈情形，以助天文上進一步的研究。

五、實驗結果

(一) 恒星部分：

當星等測定的資料庫建立的越完備時，可求出越準確的星等，以目前建立的資料，可求出其星等，經查證，可精確至 1 / 10 等，已合於一般攝影觀測所需要的精度。

(二) 星雲部份：

可以測出星際物質的存在，若以前面製作的 FILM SCANNER 掃描後，可看出星雲各部分的星等，了解雲氣的分佈情形。

(三) 變星部份：

對於一些長週期及亮度變化大的變星，可以用攝影的方法配合已建立的星等測定資料記錄其星等的變化，並可測出其變化週期。

(四)彗星部份：

因彗星為非點狀星體，其亮度分佈在一平面上，因此以FILM SCANNER掃描，可看出彗星各部分的亮度，並可由亮度的分佈大致看出彗核的形狀，是否有分裂，也能得知彗星的凝聚度，及較正確的星等。

(五)其他部分：

分別在台北市、竹東、阿里山，拍攝同樣星體，在曝光時間相同的情形下，比較底片無星點處的濃度可明顯地分辨出當地光害的情形。

六、討論

(一)用不同儀器及底片拍出之星像濃度必須考慮許多因素加以修正以轉換成資料庫之形式，故無法做精確之測定。則若要測星等，必須使用和本實驗相同器材來做。

(二)測量底片無星點處之底片濃度，可以了解當地光害及空氣污染的程序，並以星等表示光害情形，以便於了解當地星空的極限星等。

(三)已飽和的星點像無法測出其星等；因底片透光率已不會改變了，但星點飽和後Ag會向外擴散，因此可以量取星點直徑，直徑越大表亮度越高，或曝光時間愈長。

(四)星雲或彗星其亮度分佈不均，設其分佈函數為 $f(x, y)$ ，其星等值即表成

$$\int_{y=-\infty}^{y=\infty} \int_{x=-\infty}^{x=\infty} f(x, y),$$
 若以FILM SCANNER 做處理，可用面積×濃度表之。

(五)依據星像強弱 $\propto \frac{\text{星光強弱} \times (\text{口徑})^2 \times \text{物鏡透光率}}{(\text{焦距})^2}$ ，則MT-130所攝之12

等星的濃度，和用50mm F1的鏡頭拍到16等星的濃度是一樣的，但實際50mm的鏡頭根本拍不到達16等的暗星，頂多11等左右，那麼難道是公式錯了嗎？經過一番討論，我們發現造成此種情形之原因乃歸咎於星點像的繞射，由於口徑大小之不同，其繞射條紋寬度也不同；平常底片上之星像以第一亮紋為主，而第一亮紋之寬度和口徑成反比，即口徑越大解晰力愈佳，星像愈集中，則平均每單位面積上亮度越高，故較小口徑易拍得暗星。

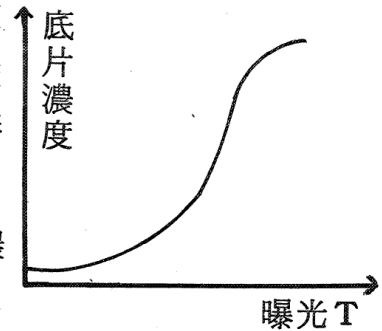
(六)依5.中所得，平均每單位亮度 $\propto \frac{1}{\text{星點面積}} \propto \frac{1}{(\text{第一亮紋寬})^2} \propto (\text{口徑})^2$ 若以

MT-130 (D=130mm) 為準，則星等修正公式為 $m = 2 \log(d / 130) / \log 2.512$

其中d為某鏡頭或望遠鏡之口徑，d < 130時m為負數，表示須減去m等才合乎

其極限星等。

(七)若是曝光時間不同，則同一顆星點的濃度也不同，但其變化並非和時間成正比關係，而是有如右圖般不規則曲線，那麼若要做星等的換算（在曝光不同的底片上）則非常地困難，因為根本無公式可循（此種底片感度下降的情形稱做「倒易律失效」或「倒數律失效」），所以我們拍攝許多張不同曝光時間的底片，分別做底片濃度測定及資料庫建立，來應付其他各種曝光時間底片之星等測定；即以經驗的方式代換算的麻煩。



(八)分別以兩種不同波長（4300 Å，5500 Å）的濾鏡拍攝星體，再用前面的方法建立視星等（V，5500 Å）的星等測定資料庫及攝影星等（B，4300 Å）的星等測定資料庫（B和V的資料由2000分點星表中取得），之後再以這兩種濾鏡拍攝未知星等星體的照片，以已建立的資料庫求出其B和V，將B和V相減（得色指數）可求出星體的 λ_{\max} ，得知星體的顏色。

(九)因 $T = \lambda_{\max} / K$ （ $K = 0.29 \text{ cm}$ ）所以在得知 λ_{\max} 後可得知星球的表面溫度，用此方法亦可測出星際中物質（如散光星雲）的星等，溫度分佈，和彗星各部分的溫度。

(十)根據黑體輻射公式 $E = T^4 \sigma$ （ $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ J/m}^2 \text{ SK}$ ）所以在知道表面溫度T後，可知星星的輻射總能量

$$L = 4\pi r^2 T^4 \sigma \text{ 且亮度 } B = L / 4\pi d^2 \Rightarrow B = r^2 T^4 \sigma / d^2$$

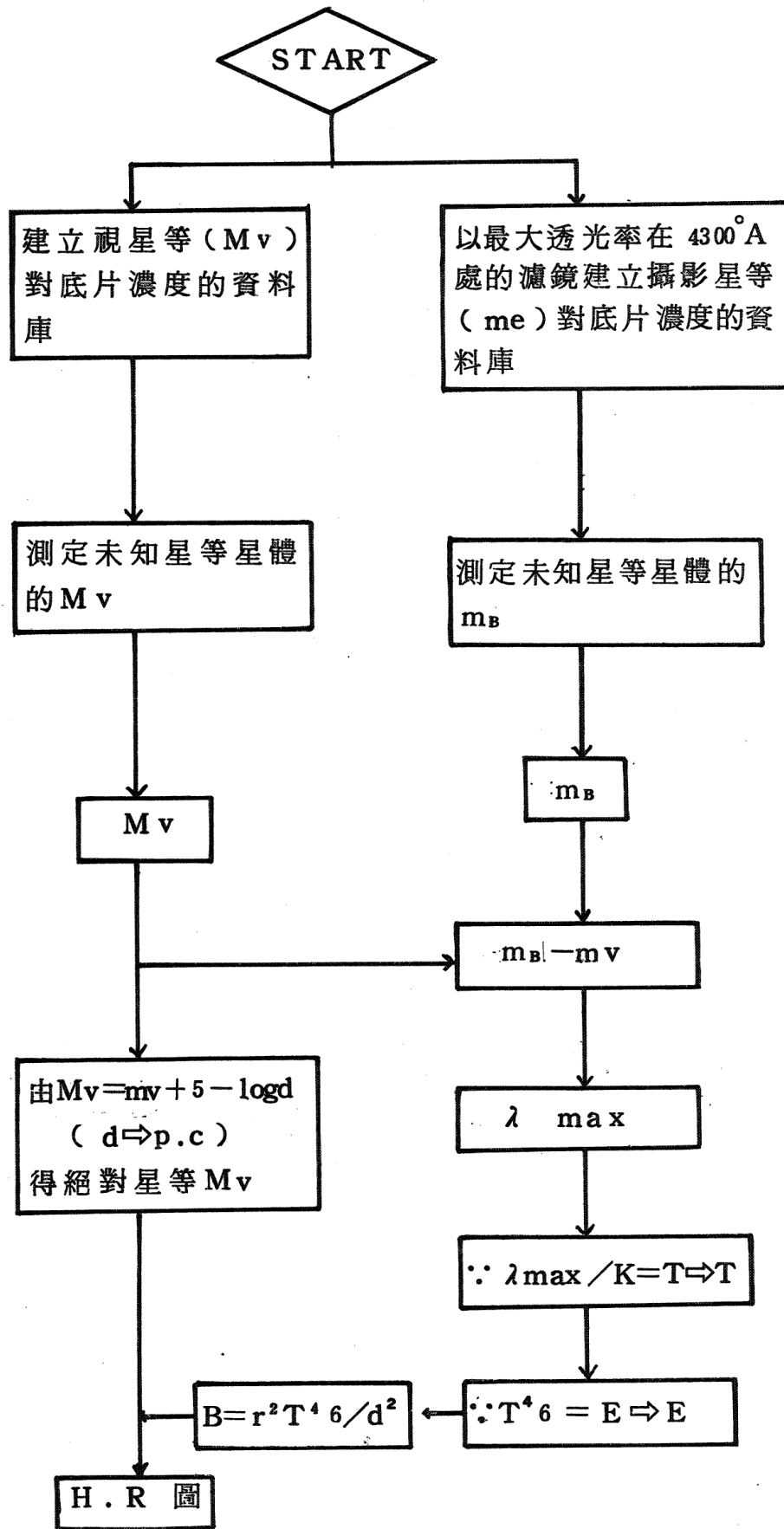
因T、B已測得， σ 已知，所以在知道星星的距離後可求出恒星的半徑，或可由星星的半徑求其距離。

(十一)在知道距離後可以 M_v （絕對星等）= m_v （視星等）+ 5 - 5 log d 算出絕對星等，再配合已求出的恒星表面溫度T，可以看出各恒星在H-R圖上的位置，了解恒星的年齡、質量等性質，反之，亦可由求出的 M_v 及T畫出H-R圖，其流程如下圖。（詳見下頁）

(十二)拍攝星星照片時，如果赤道儀追蹤不準，造成星點在底片上成直線狀時，光線便分佈在此直線上，而不是一點上，會嚴重影響測量結果，因此應注意攝影時赤道儀追蹤的精確的底片來測定。

(十三)底片周邊有像差，或是周邊減光部分的星點不宜用來建立測定資料，以減少誤差。

七、結論



本星等測定的方法經實驗後確定其可行性，如能克服一些測量儀器的誤差，及製造儀器上的困難，可測出相當精確的星等，對天文的研究有極大的價值。

八、參考資料

- (一)高中地球科學
- (二)天體觀測手冊
- (三)2000年分點星表
- (四)IBM PC 自動控制實務設計

評語

作者對電子原件、儀器、攝影器材及個人電腦均有很好的了解，且能加以組合成為壹件相當不錯的影像處理系統（包括軟體的發展），對高中學生而言，真是難能可貴。可惜作者在實際應用於資料處理時，還沒有較具體的成果展現出來。