

新的星等測定法及哈雷彗星光度的探討

高中組地球科學科第一名

高雄中學

作 者：查修智、陳晃銘

指導教師：黃 金 謂

一、研究動機

過去我們的老祖宗一向是忠實的天象觀測者，哈雷歷次回歸的蹤跡均被我們的老祖宗們詳實正確的記錄下來，就連現今有關彗星的研究工作，仍須用中國歷代來的資料加以驗證。由此，可證明中國古代天文學的優秀。

民國 74~75 年，哈雷彗星第 30 次回歸，在台灣掀起了一股天文熱潮，使一向冷門的天文學，似乎一下子熱絡起來了。然而在一股觀星熱潮之中，我們是否能夠為中國天文學盡一份心力呢？

由於我們本身對天文觀測頗有興趣，於是利用自己實際拍攝的照片加上國內的哈雷資料作星等測定、分析、研究來探討哈雷彗星第30 次回歸的情況。

二、研究目的

(一)自創一種簡易可靠的「照片測星等法」，以求取彗星的星等。

(二)彗星光度（頭部彗髮的光度）是研究彗星的重要依據，目前最準

$$\text{確的光度公式為： } I = \frac{I_0}{\Delta^2 R^n}$$

Δ ：彗星地心距 I_0 : $\Delta = 1$, $R = 1$ 時的光度

R ：彗星日心距 I : 欲測光度。

或 $m = H + 5 \log \Delta + 2.5n \log R$

H : $\Delta = 1$, $R = 1$ 時的星等

m : 欲求的星等

但其中 n 值為未定數，我們的工作便是利用觀測資料求取 n 值。
（三）以 n 值數據推測哈雷彗星的狀況。

三、研究過程

STEP 1 · 拍攝照片：

拍攝工具

1. 接環

Nikon FM2 相機

Fuji HR400 負片

GOTO 16 cm 牛頓式反射赤道儀

2. 自動追蹤驅動裝置：AC 100 V 60HZ 同步馬達

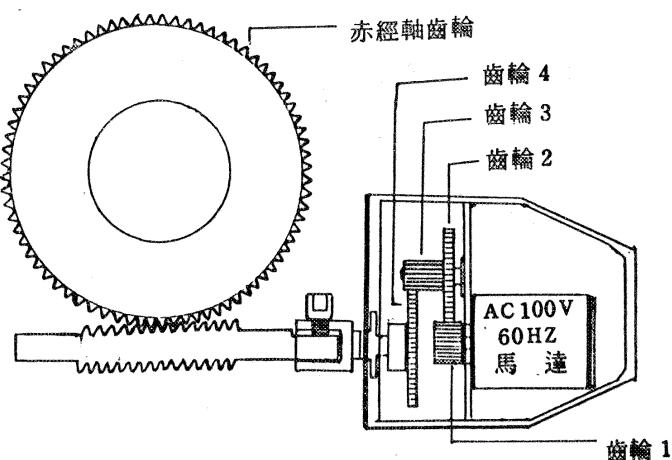
減速齒輪 1 —— 25 齒 60 秒一轉

同軸

| | | |
|---|----|------|
| 2 | —— | 63 齒 |
| 3 | —— | 20 齒 |

4 —— 76 齒 （接赤道儀）每轉一周推動赤經軸
軸輪一齒。

赤經軸齒輪 —— 150 齒（見圖一）



圖一

$$\begin{aligned}1 \text{ 恒星日} &= 23 \text{ 時 } 56 \text{ 分 } 4.091 \text{ 秒} \\&= 86164.091 \text{ 秒}\end{aligned}$$

1 恒星日赤經軸齒輪轉動 X"

$$X = \frac{\frac{86164.091}{60} \times \frac{25}{63} \times \frac{20}{76} \times 360 \times 60^2}{150}$$

$$= 1295700.3$$

1 恒星日赤經軸齒輪應轉 360°

誤差 $299.7''/\text{恒星日} = 12.522''/\text{平均太陽}$

時誤差極小，故可用於追蹤星體因地球移動自轉所造成的日周運動。

STEP 2 · 測定光度

目前一般星等測定法有下列幾種：

1. 光電測光法：在望遠鏡後面接光電倍增管及高敏度光電管來測星等。約可測至 0.05 等，但因設備複雜昂貴，且需精密的追蹤設備加以配合，不適合我們使用。
2. 目測法：分為①比例目測法②光階目測法。此二法利用人眼主觀的比較，再以公式換算，精度達 0.1 等，但即使由頗善於觀測者的結果再加以校正，結果和實際平均誤差 ± 0.3 等，因都市中不易觀測，且高中生亦無法花長時間於目測訓練，所以此法亦不適合。

基於上述理由，我們有必要發展一種新的星等測定法，它必須具有下列優點：

- (1) 使用儀器簡單、便宜、在學生能力範圍內。
- (2) 可使任何人輕易地測出星等光度。
- (3) 可對面光源加以修正換算，以測定彗星等大型星體。

於是我們設想相片濃度和透光率有一定關係，再藉著相片底部光源造成“擬星光”則測量其擬星光之間亮度比，便可得哈雷彗星等。

我們先設計一實驗，同時憑理論推導，最後將結果互為對照。

(一) 實驗：測定墨水深度和星光的關係

1. 器材：日光燈 相 片
 測深計（自製）
 針筒 培養皿
 定濃度的稀釋墨水 + 食鹽

2. 步驟：

- (1)熟記相片上同等級各星位置，並將照片置於日光燈上方，上覆以培養皿，並測量水平。
- (2)關掉室內燈光（本實驗須在晚上或暗室內進行），僅餘實驗用日光燈。
- (3)慢慢滴入墨水，注意擬星光慢慢減弱，至星光消失為止。
- (4)待眼睛恢復後再重覆步驟(3)。
- (5)最後將自製測深計插入，測量液深。

P S : 自製測深計乃利用電解效應，當尺旁電線碰到液面，因電解之故立刻冒出氣泡。讀出電線尖端所在刻度即可。

3. 數據：(仙王座仙后座固定攝影)

| | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 星 等 | 5 | 4 | 3 | 2 | |
| 墨水深度 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 單位 cm |
| 星 等 差 | 0 | 1 | 2 | 3 | 以 5 等 為 準 |

結果為一條直線！

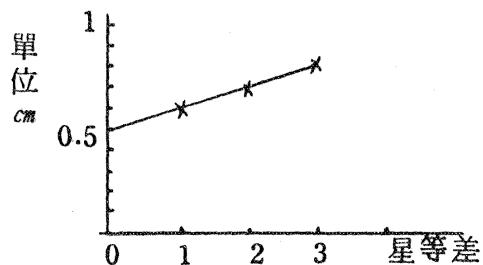


圖 2 墨水深度與星等差關係

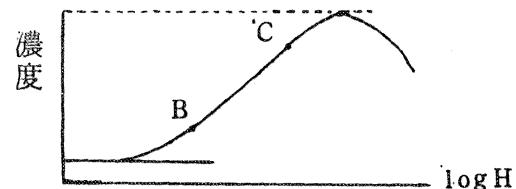


圖 3 底片濃度與露光量對數的關係

(二) 理論推導

底片其濃度(D)和露光量 ($H = \frac{I \cdot T}{k^2}$)，I : 光強度，T : 時間，

h ：距離)之對數彼此關係呈一曲線，今取濃度(D)為縱軸， $\log H$ 為橫軸，關係如下：

此曲線稱爲特性曲線、縱橫座標數值、各廠底片均不同，曲線也略異。

但在BC處均有一段呈直線，稱直線部，此部分 $\log H$ 值與濃度成比例，比值稱 γ ，即 $(D_a - D_b) = \gamma (\log H_b - \log H_a)$ ——

張正常的照片，大都處在直線部，故有 $D = \frac{1}{\gamma} \log H + \delta$ ， δ 值爲縱軸截距。

1. 實驗中的液深(x)和液體透光率(w)有如下性質：

$$I_0 \times w^x = I_{\text{透過}} \doteq 0$$

$\therefore E \times w^* = K \neq 0$ (設人眼無法辨別時爲 0)

I_0 : 光強度

E : 照度即距光源 h 處光強度, $E = \frac{I}{h^2}$

$$\log E + x \log w = \log k$$

$$\frac{x_a \log w}{x_b \log w} = \frac{x_a}{x_b} = \frac{\log K - \log E_a}{\log K - \log E_b} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

2. 又擬星光是由日光燈原強度 (U) 透過照片 (設透光率 α)

$$I_0 = U \times \alpha$$

$$\text{①式} \Rightarrow \frac{\log K - \log E_a}{\log K - \log E_b} = \frac{\log K - \log \left(\frac{U\alpha_a}{h^2} \right)}{\log K - \log \left(\frac{U\alpha_b}{h^2} \right)}$$

$$= \frac{\log \left(\frac{Kh^2}{U} \right) - \log \alpha_a}{\log \left(\frac{Kh^2}{U} \right) - \log \alpha_b} \dots \dots \dots \text{②}$$

3. 又透光率 $\alpha = 10^{-D}$ 相片 D 為相片濃度（此為仿底片的透光率假設）

$$\textcircled{2} \Rightarrow \frac{\log \left(\frac{Kh^2}{U} \right) - D_a \log 10}{\log \left(\frac{Kh^2}{U} \right) - D_b \log 10} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$$4. \text{照片濃度 } D = \frac{1}{r} \log H + \delta \quad (\text{此和底片相同原理})$$

$$H = \frac{t \times U' \times \beta}{(h')^2} \quad (\text{H 為底片放大時，相片總露光量})$$

t ：底片放大時露光時間。

U' : 放大燈強度。

β ：底片透光率。

h' : 放大燈至底片距

$$\text{所以③式} \Rightarrow \frac{\log\left(\frac{Kh^2}{U}\right) - \frac{1}{\gamma} \log H_a - \delta}{\log\left(\frac{Kh^2}{U}\right) - \frac{1}{\gamma} \log H_b - \delta} = \frac{-\delta + \log C - \log \beta_a^{\frac{1}{\gamma}}}{-\delta + \log C - \log \beta_b^{\frac{1}{\gamma}}} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$(\text{爲簡化起見令 } \frac{Kh^2 (h')^{\frac{2}{r}}}{U(tU')^{\frac{1}{r}}} = C)$$

5. 又透光率 $\beta = 10^{-D}$ 底片

$$\text{④式} \Rightarrow \frac{C_0 + \frac{D_a}{r}}{C_0 + \frac{D_b}{r}} \dots \dots \dots \quad \text{⑤ } (-\delta + C = C_0)$$

$$6. \text{底片濃度} (D_{\text{底片}}) = \frac{1}{r} \cdot \log H'_{\text{底片}} + \delta'$$

$$H' \text{ 底片} = E' \times t' , E' = \frac{\text{各星光強度}}{\text{各星距地球距離}}$$

t' = 露光時間

$$\textcircled{5} \text{ 式} \Rightarrow \frac{C_1 + \frac{\log H_a}{rr'} + \frac{\delta'}{r}}{C_1 + \frac{\log H_b}{rr'} + \frac{\delta'}{r}} = \frac{C_2 + \frac{\log E'_a + \log t'}{rr'}}{C_2 + \frac{\log E'_b + \log t'}{rr'}}$$

$$= \frac{C_3 + \frac{1}{rr'} \log E'_a}{C_3 + \frac{1}{rr'} \log E'_b} \quad (\text{為簡化起見，今將不重要的項併入 } C \text{ 中，每多併入一項，足碼增 1})$$

$$\Rightarrow \frac{C_4 + \log E'_a}{C_4 + \log E'_b} = \frac{x_a}{x_b} \quad \text{此即液深 } x \text{ 和星光 } E \text{ 之關係}$$

P S : 關於星等定義：

根據 1856 年 Pogson 提出最新光等分階法（即目前最常見者）方法是規定一等星為六等星亮度的 100 倍，換算得每一等級光度差 $2.512 (\sqrt[5]{100})$ 倍，關係如下：

$$\frac{I_a}{I_b} = \sqrt[5]{100} (m_b - m_a) \doteq 2.512 (m_b - m_a)$$

(I : 表光強度)
m : 表星等

7. 由實驗結果外插得 1 等星：液深 0.9 cm 設 1 等星光度 $100L$
6 等星：液深 0.4 cm 6 等星光度 L

$$\text{則 } \frac{C_4 + \log L}{C_4 + \log L + 2} = \frac{0.4}{0.9} \text{ 得 } C_4 + \log L = \frac{8}{5}$$

$$\Rightarrow \frac{C_5}{C_5 + x \cdot a} = \frac{0.4}{y} \quad a = \log \sqrt[5]{100} = 0.4 \\ (C_5 = C_4 + \log L)$$

$$\Rightarrow \frac{8}{5} y = \frac{16}{25} + \frac{4}{25} x \quad x = \text{星等差 (以 6 等星為起算星)} \\ y = \text{待測星之液深}$$

計算得

| 星等 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| y | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |

與實驗結果完全符合，證明此法確實可用。

8. 從上數據可發現在僅求得概略星等方面（小數點以上），此法相當可靠，但仍未達於理想程度，此乃因：

(1) 使用普通的尺，精度無法提高。

(2) 星點微小，極難分辨（尤其在快消失的時候）

針對上缺點，我們另行設計了一種改良的測量法：

(1) 改用游標尺（改裝成螺旋測深計）

(2) 加上放大鏡（凹凸透鏡 $F = 50\text{mm}$ ）

9. 改良後測得數據表（仙后座、仙王座固定攝影）：

(1)

| | | | | |
|----------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|
| 星 等 | 2.42 | 3.72 | $x_1 = 5.02$ | $x_2 = 5.05$ |
| δ | 0 | 1.30 | $\delta x_1 = 2.60$ | $\delta x_2 = 2.63$ |
| h | 2.130 | 1.900 | 1.670 | 1.665 |
| 星 等 | $x_3 = 5.36$ | | $x_4 = 3.55$ | $x_5 = 5.08$ |
| δ | $\delta x_3 = 2.94$ | | $\delta x_4 = 1.13$ | $\delta x_5 = 2.66$ |
| h | 1.610 | | 1.930 | 1.660 |

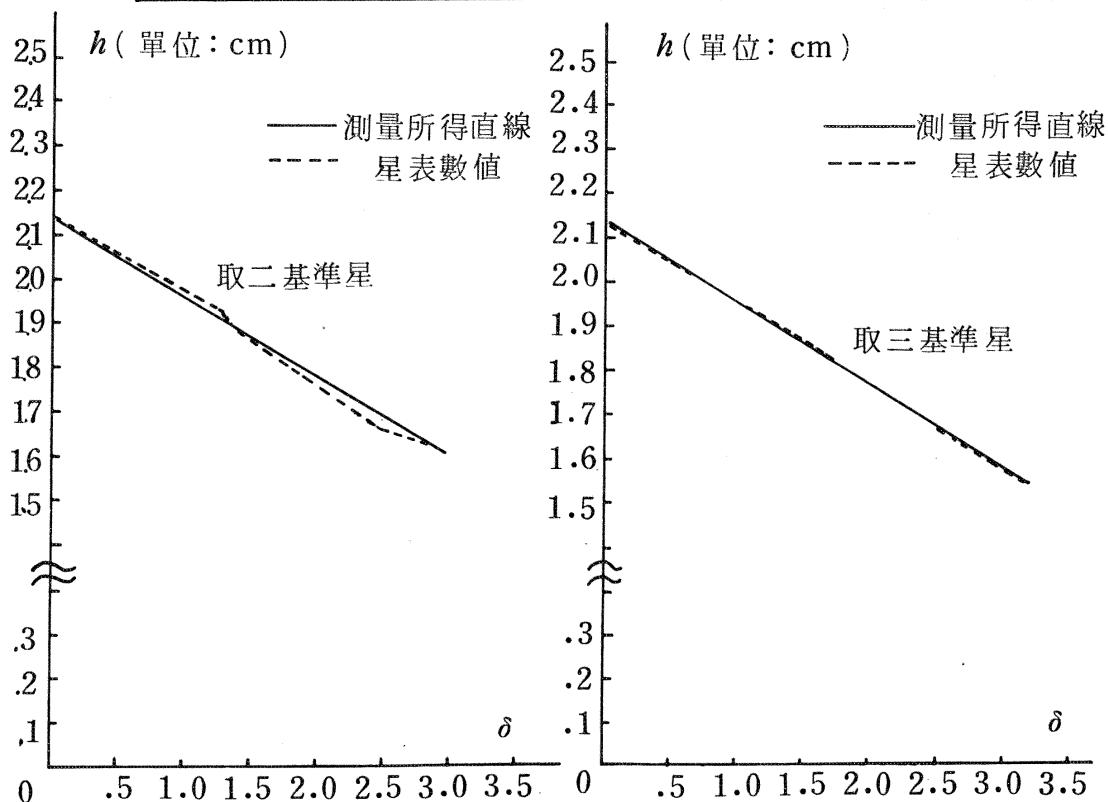
(δ ：表星等差，以表中第一顆為起算星，h：表墨水深)

|

單位：cm

| | | | | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 星 等 | 2.42 | 3.72 | 4.88 | $x_6 = 4.93$ |
| δ | 0 | 1.30 | 2.46 | $\delta x_6 = 2.51$ |
| h | 2.130 | 1.900 | 1.670 | 1.665 |
| 星 等 | $x_7 = 4.16$ | $x_8 = 5.60$ | $x_9 = 4.96$ | |
| δ | $\delta x_7 = 1.74$ | $\delta x_8 = 3.18$ | $\delta x_9 = 2.54$ | |
| h | 1.810 | 1.540 | 1.660 | |

| 取二基準星 | | | 取三基準星 | | |
|--------------|------|------|--------------|------|------|
| 實測 | 星表 | 誤差 | 實測 | 星表 | 誤差 |
| $x_1 = 5.02$ | 4.88 | 0.14 | $x_6 = 4.93$ | 4.96 | 0.03 |
| $x_2 = 5.05$ | 4.96 | 0.09 | $x_7 = 4.16$ | 4.24 | 0.08 |
| $x_3 = 5.36$ | 5.39 | 0.03 | $x_8 = 5.60$ | 5.50 | 0.10 |
| $x_4 = 3.55$ | 3.68 | 0.13 | $x_9 = 4.96$ | 5.03 | 0.07 |
| $x_5 = 5.08$ | 5.03 | 0.05 | 平均誤差 0.07 等 | | |
| 平均誤差 0.09 等 | | | | | |



圖四 測量所得直線與量表數值之誤差

注意事項：(1)測量星等時，應儘量避免光線干擾，如此結果才會有較高的準確度。因此，測量最好在暗室或晚上進行。

(2)墨水溶液中常含有大量雜質、懸浮、沈澱，往往造成大的誤差，克服的方法是用濾紙過濾二次以上。

10.改良後的測星等法，平均誤差均在 0.1 等以下，有時準確度可媲美電管測星等法，實在是一種既簡便又準確的測星等法，因此在一張曝光正常的照片上，若我們已知兩顆以上的恒星星等，便可利用這「新的星等測定法」準確測出。如此便可測出哈雷的星等。

(三)彗星光度

1.取照片 5，此為我們自己用 GOTO 16 cm 反射赤道儀拍攝而得，數據：

| | | | |
|----------|------|------|------------|
| 星等 | 5.8 | 8.7 | 哈雷 |
| δ | 0 | 2.9 | δx |
| h | 1.13 | 0.83 | 0.68 |

| | |
|------|----------------------------------|
| 時間 | 1985 11、20 1 時 40 分 |
| 赤經 | 3h 12M Δ (地心距) : 0.662 AU |
| 赤緯 | +21° R (日心距) : 1.647 AU |
| 測得星等 | 8.2 等 天文台預報星等 8.3 等 |

由數據得哈雷 10.2 等，但因拍攝時，追蹤恒星而不是追蹤彗星，所以彗星曝光時間，約為恆星曝光時間的一半，計算加入

$$\text{修正值} : \frac{C}{C - \log 2 + \delta x \cdot 0.4} = \frac{1.13}{0.68} \quad \text{如此修正後得 8.2 等。}$$

2.取照片，這張照片拍得極為成功，使用 200mm，F 4 的鏡頭拍攝而得，數據如下：

| | | | | |
|----------|------|------|------|------------|
| 星 等 | 2.9 | 3.8 | 4.7 | 哈 雷 |
| δ | 0 | 0.9 | 1.8 | δx |
| h | 2.77 | 2.50 | 2.22 | 2.42 |

單位 cm

| 時 間 1986.1.2. | | |
|---------------|------------|-----------------------------|
| 赤 經 | 22H 5M | $\Delta : 1.179 \text{ AU}$ |
| 赤 緯 | -3° | $R : 0.991 \text{ AU}$ |
| 測得星等 | 4.1 等 | 天文台預報值：5.5 等 |

得哈雷 4.1 等。

由於國外的 13 等星圖無法購得，改用 6 等星圖，已知星等自然減少。

由於這張照片哈雷相當小，甚至比寶瓶座 α 還小，所以可以不必修正，至於天文台的預測光等與我們的結果有出入，但因彗星旁有一顆 4.7 等的恆星，作實驗時，它比彗星還早消失，所以可以肯定的說哈雷至少比 4.7 等還要亮。

STEP 3 求取 n 值

(一) 我們的結果：(近日點前)

由公式 $m = H + 5 \log \Delta + 2.5 n \log R$ 因 H 為一定數 ($\Delta = 1$, $R = 1$ 時光度) 所以代入兩組觀測值便可得 n 值 $R = 1.647 \text{ AU} \sim 0.991 \text{ AU}$)

$$\begin{cases} 1985.11.20 : 8.2 = H + 5 \log 0.662 + 2.5n \log 1.647 \\ 1986.1.2 : 4.1 = H + 5 \log 1.179 + 2.5n \log 0.991 \end{cases}$$

\Rightarrow 得 n 值 9.7 得 H 值 3.8

彗星光度公式： $m = 3.8 + 5 \log \Delta + 2.5 \times 9.7 \times \log R$ (過近日點前)

(二) 天文台預報值的結果：(過近日點前, $R = 1.647 \text{ AU} \sim 0.991 \text{ AU}$)

若以 1985.11.20 及 1986.1.2 代入得 n 值 = 7.3
 $m = 5.2 + 5 \log \Delta + 2.5 \times 7.3 \times \log R$

若以 1985.10.1 及 1986.1.31 (即 $R = 2.343 \sim 0.623$ AU) 代入，得 n 值 6.7

$$m = 5.6 + 5 \log \Delta + 2.5 \times 6.7 \times \log R$$

四、討 論

(一)在我們測定的哈雷彗星照片中均未碰到面光源者，若欲測的星體爲面光源，便要考慮修正的問題，解說如下：

若有一半徑 R ，輝亮度 B 的圓型光源，將其分成寬度 dx ，內徑 x 的圓環，圓環光強度爲 $2\pi x dx \times B$ 在距離 H 時，整個面光源

$$\text{照度} E = \int_0^R 2\pi BH^2 \frac{x}{(H^2 + x^2)^2} \cdot dx = \frac{\pi R^2 B}{H^2 + R^2} \quad \text{在測星}$$

等時，若 R 甚小於 H ，則 $\approx \frac{\pi R^2 B}{H^2}$

$$\text{則測星等公式 } \Rightarrow \frac{C + \log \frac{I}{H^2}}{C + \log \frac{\pi R^2 B}{H^2}} = \frac{x \text{ 點光源}}{x \text{ 面光源}} \quad \text{即可}$$

(二)此種星等測定法和傳統使用底片測定，看似大相逕庭，但原理差不多，只不過照片的濃度 D 和透光率之間的數值關係不同。

這方法有一個好處，就是不論底片底色如何，或沖洗濃度如何，均可將此變因置入 C 中，無須另外計算。

(三)關於星光顏色，由於人眼對於黃綠兩種光較爲敏感，因此若以兩眼來確定光度，恐因顏色而有差異，因此若能在鏡頭前加濾光鏡，並用黑白底片拍攝，結果必定更加準確。

(四)1910 年，哈雷 29 次回歸，當時根據 Morris 和 Green 的計算：在通過近日點前 ($r = 3.35 \sim 0.59$ AU)：

$$m_1 = 5.47 + 5 \log \Delta + 11.10 \log r, n \text{ 值為} \\ 4.44$$

$$\pm 0.07 \quad \pm 0.25$$

通過近日點後 ($r = 0.59 \sim 5.00$ AU)：

$$m_2 = 4.94 + 5 \log \Delta + 7.68 \log \gamma, n \text{ 值為 } 3.07 \\ \pm 0.06 \quad \pm 0.15$$

而 1985 ~ 1986 年的回歸，光度公式的 n 值顯然大於 1910 年的 n 值，在對彗星尚未明瞭之前，對此現象無法解釋，至於 n 值為何如此我們曾就輻射熱傳，大氣指數率和光線的漫射加以解釋，但並未成功，由於 n 值的大小可以顯示出彗星光度和日心距之

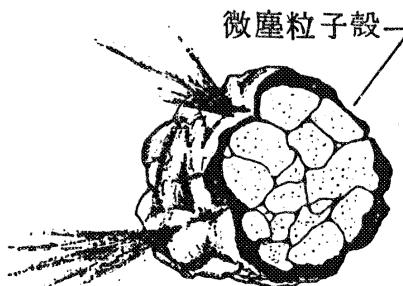


圖 5 微塵粒子殼模型

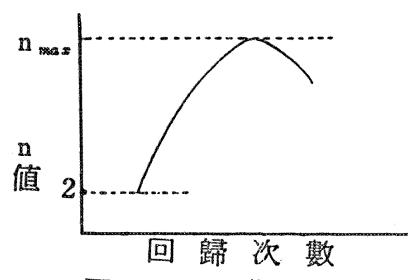


圖 6 n 值曲線

間的關係，我們就彗星冰核模型及微塵粒子殼說，加以解釋：微塵粒子殼之說是認為：彗星噴發的物質中，較輕物質逸散出去，而沈積下較重的物質，如微塵粒子，彗星回歸的次數愈多，殼的分佈亦愈廣且愈厚，根據我們的推測，由於彗星引力大小（根據計算、表面重力加速度約 10^{-8} m/sec^2 左右），不太可能吸附彗星氣層內的高速微塵，因此微塵大都是在噴出之後，受到太陽風的壓力而逆流，沾附在彗星核表面，在噴發面形成微塵殼，如此微塵的分布必然不均勻，哈雷彗星每次回歸必然使微塵殼的厚度及面積增加，由於微塵殼所含物質的比熱較水及冰為小，因此彗星表面被微塵殼所包圍時，蒸發速率就劇烈起來，所以我們可以推得：哈雷彗星表面微塵殼的增加，是其 n 值上升的主要原因之一。

(五) 為了明瞭彗核的活動，對於哈雷光度變化的瞭解是相當重要的，而光度公式中的 n 值隨彗星的組成結構大有不同與它們的年齡亦必有關聯，因為彗星的死亡大多為物質消耗及在微塵殼的緊密包圍下，不再噴發物質。微塵殼的增加雖增快了蒸發速率，但亦遮蓋了一些噴射孔，二者作用的總結果即為 n 值， n 值的變化可能為一曲線（如圖 6）在 n 值呈最大值時，即是微塵殼遮掩噴氣的

效應強過助長蒸發的效應之時，此後 n 值下降，彗星已開始邁向死亡之途。

五、結論

(一)過去我們對於星等的測定一直束手無策，一則未受過目測訓練，根本無法使用目測法。一則光電管的使用，無精密的設備而作罷。相信這大概是每一個觀測者共同的困擾，但如今憑這簡單的星等測定法，便可輕易的解決困難。

(二)此種「照片測星等法」，不僅可應用於彗星光度的測定，亦可以應用於變星的觀測。由於有高準確度的數據為基礎，便可畫出可供研究之用的光度曲線，因此藉著這簡易的測定法，可使業餘天文愛好者，除了一般性的觀測外，作更進一步的研究。

(三)哈雷第 30 次回歸的光度公式，我們根據兩張照片的計算結果

$$\text{爲 : } I = \frac{3.8}{\Delta^2 R^{9.7}}, \text{ 則 } m = 3.8 + 5 \log \Delta + 2.5 \times 9.7 \times \log$$

R (過近日點前)，由本次哈雷的回歸可看出，哈雷的 n 值仍在上升之中，雖歷經 30 次以上的回歸，微塵殼仍未覆滿彗星表面，且仍在不斷增加之中。

六、參考文獻

- (一)鄭開傳編著：電燈及照明。
- (二)陸維承、林啓昌合著：照明感光材料 73 年 9 月 1 日。
- (三)天文通訊：變星的光電管觀測 23 卷第 2 期 64 年。
- (四)王石安編著：天文知識叢書(二)。
- (五)董思明編著：簡明天文學 72 年 3 月。
- (六)何耀坤著：哈雷彗星將要回來。科學教育月刊第 75 期。
- (七)觀測月報：74 年 10 月份～75 年 1 月份。
- (八)牛頓雜誌編輯中心譯：哈雷旋風 74 年 12 月 5 日。
- (九)哈雷俱樂部發行：哈雷彗星觀測快報。74 年 11 月 12 月、75 年 1

月。

(+)陳培堃、方興中：科學眼看哈雷、科學眼第 22 期 75 年 2 月。

評 語

- (一)本作品乃利用墨水深度與透光率之關係，應用自行設計之儀器，進行星等差之測定與比較，提供比目測法較佳之方法，其構想甚有創意；其方法亦簡易可行，所設計之儀器亦甚可取，參展人對此項測定所涉及之觀念與實作經驗均甚有基礎。
- (二)作品中有關數據之有效數字位數與誤差來源之交待尚欠周延，原始記錄資料部份，未能妥善保存，儀器設計之構想，來加描述，以上各點若能再加改進，當更理想。