

**RESUME :** Cette étude est la première d'une série destinée à l'analyse et (si possible) à la réobservation d'un certain nombre de variables à éclipses dont on ne connaît pas l'orbite, dans la mesure où jusqu'à présent ces étoiles n'ont fait l'objet que d'observations photographiques.

IW Cephei varie de  $m_p$  13.62 à 15.60 avec une période un peu supérieure à 1.6 jour.

Les caractéristiques de son orbite ont été déterminées à partir de 392 mesures photographiques effectuées entre 1948 et 1955 par W.J. Miller et A.A. Wachmann.

La précision des mesures disponibles (0.03 mag) a permis d'obtenir la valeur du coefficient d'obscurcissement au bord de chacune des composantes, en minimisant l'écart entre la courbe théorique et la courbe observée.

Il a été également possible de déterminer la valeur des éléments absolus dans l'hypothèse où l'atmosphère des deux composantes est conforme aux modèles de Hunger, Underhill, Mihalas et Strom.

Il résulte que IW Cep est formée de deux composantes appartenant à la ZAMS et de type spectral A1 et F2; en outre le système est sans aucun doute du type détaché, puisque les rayons calculés pour les lobes de Roche sont supérieurs aux rayons obtenus d'après la courbe de lumière disponible.

#### A) INTRODUZIONE

La stella in esame è stata scoperta durante una ricerca fotografica di nuove stelle variabili nella zona di Cepheus-Lacerta nel 1948 da parte di W.J. Miller e A.A. Wachmann.

La curva di luce ottenuta riducendo 392 lastre è stata pubblicata nel 1971 [1].

Nella pubblicazione sono riportati tutti i dati intorno alla strumentazione usata e alle tecniche fotografiche impiegate.

IW Cephei ( $\alpha_{1900} = 22h 00m 59.8s$ ,  $\delta_{1900} = +54^\circ 58' 26''$ ) può essere catalogata come una variabile ad eclisse di tipo EA infatti la sua curva di luce fotografica mostra una eclisse di tipo parziale e non riporta grosse perturbazioni.

Gli autori delle osservazioni riportano per questa stella le seguenti caratteristiche:

max = 13.62 ph.  
 min 1 = 15.60 ph.                      tipo: EA  
 min 2 = 13.72 ph.

L'effemeride riportata è la seguente (ottenuta su 6 minimi primari osservati fotograficamente):

$$\text{Min 1} = \text{JD} 2432768.388 + 1^d .609413 * E \quad (1)$$

il valore della durata del minimo riportato è:  $D = .16 * P$  inoltre i tipi spettrali delle due componenti risultano sconosciuti. Il GCVS 1974 riporta gli stessi dati (che d'altra parte sono stati presi dal lavoro precedentemente citato) sopra indicati, ma aggiunge:

$$(\text{min 2} - \text{min 1})/P = .52$$

Non risulta che IW Cephei sia stata osservata successivamente ne nessun calcolo d'orbita sia stato tentato.

Il presente lavoro fa parte di un programma di lavoro in corso al C.A.B. che ha lo scopo di determinare gli elementi orbitali di variabili ad eclisse di magnitudine troppo bassa per essere osservate fotoelettricamente con strumenti di media apertura, però di cui siano disponibili misure fotografiche di sufficiente precisione per giustificare il calcolo.

IW Cephei è la prima delle stelle esaminate e lo studio della sua curva di luce sarà presentato in questo lavoro.

In esso saranno indicati gli elementi orbitali fotometrici e con una certa approssimazione (poiché la precisione della curva lo permette) anche quelli assoluti.

#### B) OSSERVAZIONI

La stella in esame è stata osservata fotograficamente durante il periodo che va dal 1948 al 1955 alla Specola Astronomica Vaticana e all'osservatorio Astronomico di Amburgo da W.J. Miller e da A.A. Wachmann nell'ambito di un programma sistematico di ricerca di nuove stelle variabili nelle costellazioni di Cepheus e Lacerta.

Lo strumento usato secondo le indicazioni fornite dagli autori, è stato un astrografo Zeiss da 40 cm  $\phi$ .

Il tipo di pellicola usata è stata di tipo vario, in ogni caso si è potuto assumere con sufficiente precisione  $\lambda_{eq} = 4250 \text{ \AA}$  inoltre gli autori stessi indicano una incertezza media sui punti normali che costituiscono la curva di luce riportata nella pubblicazione [1] di circa  $\pm 0.03$  mag., piuttosto buona per osservazioni fotografiche che quindi si possono ritenere accurate.

Per quanto riguarda IW Cephei sono state ottenute 392 determinazioni di magnitudine ottenute da altrettante lastre raggiungendo una perfetta copertura della curvadi luce.

#### C) ELABORAZIONE DATI

In fase di elaborazione dei dati era disponibile un gruppo di 6 minimi primari osservati dagli autori precedentemente menzionati.

I sei istanti di minimo che si estendono su un intervallo di oltre 5 anni avevano permesso di ottenere l'effemeride (1) precedentemente riportata, tale effemeride porta ad un valore dei residui di:

$$\sum (O - C)^2 = .000167$$

Utilizzando gli stessi dati è stata ottenuta, col metodo dei minimi quadrati, un'altra effemeride che appare un poco più precisa e che riporta le barre d'errore sulla base e sul periodo. Tale effemeride è la seguente:

$$\text{Min 1} = \text{JD} 2432768.389 + 1^d .609411 * E \quad (2)$$

$\pm 8 \qquad \qquad \qquad \pm 13$

(le barre d'errore sono state determinate senza effettuare la correzione per il t di student) L'effemeride (2) appare migliore della (1) in quanto i residui danno:

$$\sum (O - C)^2 = .000163$$

1974 NOV 11 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31  
 P. 1/4  
 DLNDAMU, 13 NOV. 1974

La tabella seguente riporta i sei istanti di minimo e i relativi (O-C) ottenuti dalle due effemeridi;

| ist. di minimo<br>$t_0$ (JD.) | E     | eff. (1)<br>(O-C) | eff. (2)<br>(O-C)' |
|-------------------------------|-------|-------------------|--------------------|
| 2432768.396                   | 00    | +0.0080           | +0.0072            |
| 3064.517                      | +184  | -0.0030           | -0.0035            |
| 3267.308                      | +310  | +0.0020           | +0.0016            |
| 3476.523                      | +440  | -0.0070           | -0.0069            |
| 4239.387                      | +914  | -0.0040           | -0.0041            |
| 4709.345                      | +1206 | +0.0050           | +0.0057            |

pur troppo Miller & Wachmann non hanno indicato il metodo con cui sono stati ottenuti i valori degli istanti dei minimi riportati quindi nulla può essere detto sulle barre d'errore sulla singola determinazione di  $t_0$ .

La pubblicazione [1]<sup>o</sup> riportava la tabella dei punti normali che ha permesso di costruire la curva diluce utilizzando un elaboratore elettronico TEXAS DX 990 per mezzo di un programma di plottaggio con una stampante PRINTRONIX 300.

Tale curva di luce che è servita da base per il calcolo successivo è mostrata in figura 1.

Tale curva è stata costruita in accordo con l'effemeride (1).

La tabella I riporta le coordinate dei 25 punti normali utilizzati. Dall'analisi di essi sono risultati i seguenti valori delle mag. al massimo e ai due minimi:

$$\begin{aligned} \text{Max} &= 13.63 \pm .01 \\ \text{Min 1} &= 15.60 \pm .03 \\ \text{Min 2} &= 13.72 \pm .03 \end{aligned}$$

inoltre il calcolo degli istanti dei minimi medi forniva i seguenti valori ottenuti col metodo poligonale:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= .002 \pm .003 \\ \varphi_2 &= .513 \pm .004 \end{aligned}$$

da cui risultava un valore di:

$$(\text{Min 2} - \text{Min 1})/P = .511 \pm .004 \quad (3)$$

in buon accordo con quanto riportato dal GCVS 74 e precedentemente riportato.

Appare quindi evidente che IW Cephei possiede un'orbita di tipo ellittico.

Tale fatto sarà da tener presente in sede di determinazione degli elementi orbitali fotometrici in quanto, pur influenzando in misura piccola la curva di luce, gli elementi ne possono risentire in maniera concreta.

Tenendo conto oltre che dello sfasamento del minimo secondario anche dei valori delle durate dei minimi saranno determinati i due parametri tipici dell'orbita ellittica che verranno riportati più oltre con precisione.

#### D) SOLUZIONE DELLA CURVA DI LUCE

Utilizzando la curva di luce generata dai punti della tabella I sono stati calcolati gli elementi orbitali fotometrici previa rettificazione della curva di luce stessa nei tratti di fuori eclisse.

La rettificazione è stata ottenuta con una serie del tipo:

$$I(\theta) = A_0 + A_1 \cos \theta + A_2 \cos^2 \theta$$

trascurando i termini di perturbazione in quanto la curva non presentava complicazioni.

I valori delle costanti  $A_j$  ottenute col metodo di Binnendijk [2] sono state:

$$A_0 = 1.005 \pm .007$$

$$A_1 = -.021 \pm .003$$

$$A_2 = -.026 \pm .016$$

che hanno permesso di ottenere la curva di luce rettificata da impiegare nel calcolo dell'orbita.

La curva di luce mostrata in fig.1 mostra un'eclisse di tipo parziale inoltre non sono registrabili perturbazioni nei minimi. In generale un'eclisse di tipo parziale non permette una determinazione del coefficiente di oscuramento al bordo direttamente dalla curva di luce.

Se la curva non è molto perturbata e utilizzando un metodo adatto è possibile giungere ad ottenere anche questo parametro di difficile determinazione.

Per la soluzione della curva di IW Cephei è stato usato un metodo di tipo iterativo, proposto dallo scrivente [3] durante l'ultimo simposio del G.E.O.S. (aprile 1980).

Gli elementi sono stati ottenuti usando i punti normali presenti nelle fasi di eclisse, operando un fitting sulla funzione  $S(\alpha, k, x)$  definita nel seguente modo:

$$S(\alpha, k, x) = \sum_{j=1}^{j=n} \left\{ \sin^2 \theta_j - G_1(k, x) \cdot D_j(\alpha_j, k, x) + G_2(k, x) \right\}^2$$

in cui  $G_1(k, x)$  e  $G_2(k, x)$  sono costanti legate agli elementi orbitali che vengono ottenute per ogni valore di  $k$  e di  $x$  fissati, col metodo dei minimi quadrati,  $j$  si riferisce al  $j$ -esimo punto normale e:

$$D_j(k, \alpha_j, x) = \left\{ 1 + k \cdot p(\alpha_0, k, x) \right\}^2$$

Ottenendo un certo numero di soluzioni per vari valori di  $x$  si è cercato il miglior valore di  $x$ , cioè quello che corrisponde al minimo di  $S(\alpha_0, k_0, x)$ .

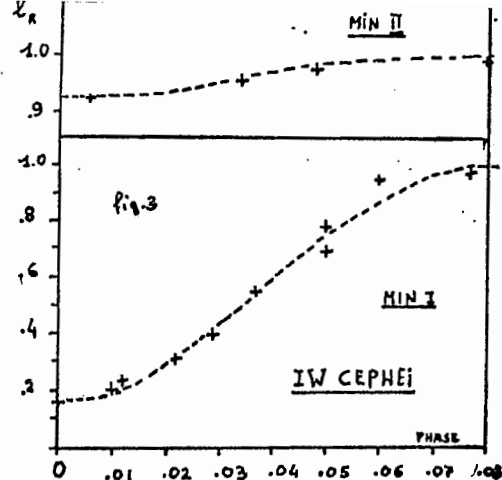
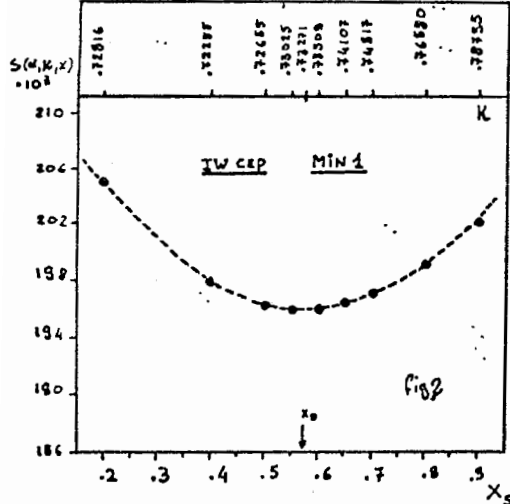
La convergenza viene ottenuta solamente se la curva presenta poche perturbazioni al minimo analizzato.

La figura 2 riporta il diagramma della funzione  $S(\alpha, k, x)$  plottata in funzione di  $x$  nel caso del minimo principale.

LUCO INO LUCO (SNUC)

IW Cephei

P. 2/4



I punti indicati sono marcati con il valore di  $k$  che meglio approssimava le osservazioni disponibili.  
Il minimo assoluto della funzione  $S(\alpha, k, x)$  viene raggiunto per:

$$k_0 = .7327 \quad x_0 = .5768 \quad S(k_0, x_0, \alpha_0) = .001962$$

che rappresenta la miglior terna di valori adattabili ai dati sperimentali.

Tutto il calcolo è stato effettuato utilizzando una calcolatrice programmabile TEXAS TI 58.

Dalla analisi della curva di luce si può notare che essa presenta gli effetti che indicano chiaramente che IW Cephei possiede una orbita ellittica.

Infatti tenendo conto del valore dello sfasamento del minimo secondario espressa dalla (3) e dei valori delle durate determinate con la analisi della curva di luce e risultate essere:

$$D_1 = .155 \cdot P \quad D_2 = .144 \cdot P$$

è stato possibile ricavare i valori della eccentricità orbitale e della longitudine del periastrò dal nodo ascendente che sono risultate essere:

$$e = .04 \quad \omega = 60^\circ.97$$

tale valore dell'eccentricità è stato preso in considerazione in fase di calcolo degli elementi orbitali fotometrici.

I risultati ottenuti sono illustrati nella tabella II e la figura 3 riporta la curva teorica plottata fra i punti ottenuti dalle osservazioni, l'accordo è buono, indice di affidabilità degli elementi trovati.

#### E) DETERMINAZIONE DEGLI ELEMENTI ASSOLUTI

In generale la determinazione degli elementi assoluti è impossibile usando esclusivamente gli elementi ottenuti dallo studio della curva di luce.

Il metodo usato per ottenere gli elementi fotometrici consentiva la determinazione del valore del coefficiente di oscuramento al bordo

delle due componenti e supponendo che la distribuzione di luminosità sul loro disco verificarsi la teoria di Grygar [4], basata sui modelli atmosferici di Hunger, Underhill, Mihalas e Strom in cui la distribuzione di luminosità sul disco delle stelle obbedisce ad una legge di natura non lineare, è possibile determinare insieme ai valori dei coefficienti di "limb-darkening" i coefficienti di "gravity-darkening" e le temperature fotosferiche delle due stelle che compongono il sistema IW Cephei.

Tenendo presente il valore di  $J_1/J_2$  trovato, si sono potuti determinare i due valori di  $\beta$  e di  $T_1^4$  [5], [6], [7], [8], successivamente quelli delle masse, dei raggi e delle densità medie.

I valori determinati in base alla lunghezza d'onda di osservazione sono riuniti nella tabella III.

Dall'esame di tale tabella è possibile notare che il sistema IW Cep è formato da due stelle appartenenti alla sequenza principale infatti i valori ottenuti per le masse e per i raggi sono in ottimo accordo con quelli tipici di ZAMS per stelle del tipospettrale trovato.

#### F) CONCLUSIONE

Da quanto ottenuto, dalla elaborazione dei dati è possibile osservare che il sistema binario in esame è composto da una stella di tipo spettrale A1 e da una di tipo F2, appare interessante notare che la F2 pur essendo logicamente meno massiva della sua compagna, possiede un raggio di circa 1R<sub>☉</sub> più grande.

Sulla curva di luce non sono rilevabili delle perturbazioni di conseguenza la forma delle componenti il sistema in esame deve essere praticamente sferica in quanto la distorsione mareale provoca effetti trascurabili o per lo meno poco rilevabili dalla curva di luce fotografica.

Tenendo conto del rapporto di massa trovato si possono calcolare i profili dei due lobi di Roche [9], [10] i cui raggi medi risultano essere rispettivamente:

$$r_g^0 = .331 \quad r_g^0 = .396$$

che appaiono nettamente superiori ai valori dei raggi frazionari trovati con l'analisi della curva di luce.

Alla luce di questi fatti è quindi possibile affermare che il sistema IW Cephei è stato correttamente catalogato qualitativamente di tipo EA in più è possibile assegnare quantitativamente tale sistema al tipo "Detached".

#### G) BIBLIOGRAFIA

A. Gaspani

- [1] Miller W.J., Wachmann A.A. Ric. Astr. Vol. 8, N°12, 1971.  
 [2] Binnendijk J. "Properties of Double Stars" Univ. Penn. Press 1960  
 [3] Gaspani A. "La determinazione degli elem. orb. delle variabili ad eclisse" applicaz. a piccoli calcolatori progr. relazione simposio GEOS 1980.  
 [4] Grygar J. Bull. Astr. Inst. Czech. 16, 195, 1965  
 [5] Kopal Z. "Close Binary Systems" J. Wiley, New York 1959.  
 [6] Hosokawa Y. Sendaj Astr. Rap. N°42  
 [7] Hosokawa Y. Sendaj Astr. Rap. N°56  
 [8] Gaspani A. "Metodo per determinare le dim. assolute dei sist. binari a spettro incognito" (non pubblicato).  
 [9] Kopal Z. "Introduction to study of The Eclipsing Binaries"  
 [10] Kopal Z. "Eclipsing Variable Stars" J. Wiley New York.

Tab. I curva di luce fotografica

| fase | mag. ph. | fase | mag.ph. |
|------|----------|------|---------|
| .000 | 15.60    | .561 | 13.66   |
| .012 | 15.24    | .596 | 13.62   |
| .029 | 14.65    | .675 | 13.61   |
| .050 | 14.07    | .765 | 13.62   |
| .077 | 13.69    | .846 | 13.64   |
| .111 | 13.65    | .885 | 13.64   |
| .168 | 13.65    | .919 | 13.64   |
| .246 | 13.63    | .940 | 13.73   |
| .320 | 13.63    | .950 | 13.93   |
| .382 | 13.63    | .963 | 14.33   |
| .432 | 13.63    | .978 | 14.92   |
| .479 | 13.68    | .990 | 15.38   |
| .519 | 13.72    |      |         |

Tab. II elementi orbitali fotometrici

$\lambda_{eq} = 4250 \text{ \AA}$       Min 1 = occultazione

|                                       |                           |                        |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| $\alpha_0^{occ} = .969 \pm .004$      | $L_g = .143 \pm .002$     |                        |
| $k = .73 \pm .01$                     | $L_s = .857 \pm .002$     | $e = .04$              |
| $i_1 = 85^\circ.3 \pm 1^\circ.7$      | $J_g/J_s = .313 \pm .004$ | $\omega = 60^\circ.97$ |
| $r_g = .274 \pm .006$                 | $x_g = .64 \pm .04$       |                        |
| $r_s = .200 \pm .004$                 | $x_s = .58 \pm .04$       |                        |
| $\theta_e = 27^\circ.9 \pm 0^\circ.9$ |                           |                        |

Tab. III elementi assoluti

$\lambda_{eq} = 4250 \text{ \AA}$

|                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| $q = .625 \pm .03$                  | $a = 9.0 \pm 2 R_0$                   |
| $\beta_g = -4.7$                    | $R_g = 2.46 \pm .05 R_0$              |
| $\beta_s = -3.6$                    | $R_s = 1.80 \pm .04 R_0$              |
| $T_g = 7200 \text{ }^\circ\text{K}$ | $M_g = 1.5 \pm .5 M_0$                |
| $T_s = 9500 \text{ }^\circ\text{K}$ | $M_s = 2.3 \pm 1. M_0$                |
| $Sp_g = F2$                         | $\bar{\rho}_g = .138 \text{ gr/cm}^3$ |
| $Sp_s = A1$                         | $\rho_s = .5565 \text{ gr/cm}^3$      |

mag. Phot.

