

## ORBITA SPETTROGRAFICA DI HD 88512

Nota di ALDO GILARDINI (\*)

(Centro di Studi per la Fisica Stellare del C. N. R. - Merate)

RIASSUNTO — A Merate nell'anno 1950 furono presi 25 spettrogrammi della binaria spettroscopica HD 88512 di tipo A, con uno spettrografo ad un prisma avente dispersione di 73 Å/mm ad  $H_\gamma$ . Essi hanno permesso la determinazione degli elementi orbitali di questa stella. Gli elementi risultanti sono  $P = 3^d .242$ ,  $e = 0.07$ ,  $\omega = 111^\circ$ ,  $K = 54.4$  km/s,  $V = -12.1$  km/s,  $T = 2433328.092$  J. D. L'errore probabile di una lastra di peso medio è di  $\pm 4.7$  km/s. Alcuni dati relativi alle caratteristiche fisiche delle componenti (valori e limiti provvisori delle masse, luminosità e dimensioni) vengono dedotti da considerazioni statistiche.

ABSTRACT — The orbital elements of the spectroscopic binary star HD 88512 have been determined from 25 spectra, obtained with the single prism spectrograph attached to the 40'' reflector of the Merate Observatory. The dispersion is 73 Å/mm at  $H_\gamma$ . The elements are  $P = 3^d .242$ ,  $e = 0.07$ ,  $\omega = 111^\circ$ ,  $K = 54.4$  km/s,  $V_0 = -12.1$  km/s,  $T = 2433328.092$  J. D. The probable error of a plate of average weight is  $\pm 4.7$  km/s. Some data concerning the physical characteristics of the components (provisional values and limits of the masses, luminosities and dimensions) are deduced from statistical considerations.

1. - Fin dal 1940 il Prof. Gratton (1), avendo eseguito una serie di misure di velocità radiali su spettri presi con lo spettrografo Zeiss dell'Osservatorio di Merate, propose che, dato l'esito completamente soddisfacente di queste prove, misure di tal genere venissero incluse nei futuri programmi di lavoro del riflettore. Egli enunciò pure i possibili contributi di utilità in tale campo, soffermando l'attenzione sullo studio di stelle doppie spettroscopiche di orbita non ancora conosciuta e di doppie per le quali sarebbe interessante una revisione dell'orbita. Recentemente ci si propose di rivolgere nuovamente l'attività del riflettore in parte verso tali misure.

Tuttavia nella primavera del 1949 lo spettrografo ad un prisma, che gode delle caratteristiche già esposte nelle pubblicazioni precedenti di Merate, presentava un leggero astigmatismo dovuto ad uno specchio montato difettosamente; trovata la causa di tale astigmatismo, lo spettrografo fu messo completamente a punto dal Dott. Bisi e dallo scrivente. Le posizioni dei fuochi e le inclinazioni per le varie camere risultarono

(\*) Pervenuta il 6 ottobre 1950.

differenti da quelle trovate dal Prof. Gratton nel 1940, ma un tale fatto era già atteso come conseguenza delle modificazioni apportate durante gli anni intercorsi.

Nel giugno del 1949 lo spettrografo venne applicato al riflettore, il cui specchio era stato proprio allora alluminato per la prima volta dal Prof. Krüger.

All'inizio dell'attività vennero naturalmente rideterminate per le nuove condizioni le tabelle di dispersione per le camere di 23 e 48 cm (dispersioni 73 e 35 A/mm ad  $H_\gamma$ ); a tal fine misurai su alcuni dei migliori spettri di confronto numerose righe di lunghezza d'onda nota, adatte allo scopo (righe ben isolate e di intensità conveniente).

Durante i primi mesi vennero presi, per lo più con la camera di 48 cm, numerosi spettri di stelle con *VR* standard, al fine di constatare se lo spettrografo non presentava alcun difetto e se le misure di *VR* risultanti potevano essere attendibili come lo erano nel 1940. Parecchi di questi spettri furono misurati dallo scrivente e l'esito fu buono, poichè le velocità misurate risultarono in buon accordo con quelle standard. In base a tali misure si concluse che lo spettrografo si trovava in condizioni analoghe a quelle del 1940 e che quindi si poteva dar corso tranquillamente ai programmi predisposti.

E' interessante osservare pure che per le misure sopradette di *VR* su spettri di stelle con *VR* standard si è scelto il più recente sistema di lunghezza d'onda di Victoria (2) (3) (4). Tale sistema è apparso oltremodo soddisfacente, salvo che per le stelle di tipo avanzato con bassa dispersione, dove la differenza è probabilmente dovuta alla diversità di dispersione tra Victoria (51 A/mm) e Merate (73 A/mm); in tutti gli altri casi gli errori probabili delle singole lastre sono molto bassi (per stelle dei tipi avanzati su spettri a media dispersione sono nella maggior parte inferiori al kilometro). Si decise così di attenersi per le successive misure, fin dove possibile, al nuovo sistema di Victoria.

2. - Nel 1917 Adams e Joy annunciarono (5) che la stella HD 88512, A. G. Cam 3591 ( $1900 \alpha = 10^h 7^m .4$ ,  $\delta = + 50^\circ 59'$ ), grandezza visuale 6.6 e tipo spettrale A 3 (A 4 Mount Wilson), era una binaria spettroscopica; dal catalogo di *VR* di Moore (6) risulta che Adams e Joy misurarono 5 spettri presi con uno spettrografo ad un prisma e che le *VR* risultanti erano comprese nell'intervallo tra  $- 79$  e  $+ 37$  km/s. Dall'esame delle pubblicazioni presenti nella biblioteca dell'Osservatorio (mancano tuttavia in parte le pubblicazioni del 1949 e 50) non risulta che siano state compiute da allora altre misure di *VR* di HD 88512.

Data l'ampia escursione osservata nella *VR*, questa stella venne inserita nel programma di orbite spettrografiche da determinarsi a Merate con lo spettrografo ad un prisma e camera corta (dispersione di circa 73 A/mm ad  $H_\gamma$ ). Nei primi mesi del corrente anno vennero presi 25 spettri, che hanno permesso di determinare l'orbita che verrà ora discussa.

Tutte le lastre sono state misurate dallo scrivente al misuratore Mioni dell'Osservatorio. Come precedentemente accennato, si adottarono quali lunghezze d'onda standard quelle recentemente proposte da Victoria per i tipi A di spettri a bassa dispersione (3); poichè il numero di righe

misurabili su ogni spettro è però scarso, si decise di integrare tali lunghezze d'onda con talune di quelle della più ampia lista precedente di Victoria (7). Le righe misurate furono quasi esclusivamente quelle della serie di Balmer dell'idrogeno ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ,  $H_\epsilon$ ,  $H_\zeta$ ) e le righe  $H$  e  $K$  del Ca II; solo raramente si è riusciti a misurare anche qualche debole riga metallica, per lo più dovuta al Fe I od a blend di questo con altri metalli.

Nella tabella I sono riportati successivamente nelle colonne il numero della lastra, la data usuale, la data giuliana, la fase riferita al pas-

TABELLA I.

Lastra	data	J. D. 2433000. +	fase	VR	N: righe	peso	(O-C) prel	(O-C) finale
1342	15-2-50	327.520	2.670	+ 29.1	6	4	- 1.1	+ 0.9
1350	21-2-50	334.496	3.162	- 27.6	5	4	- 4.6	- 3.8
1353	23-2-50	335.522	0.946	- 61.4	4	4	- 7.4	- 8.8
1356	3-3-50	344.478	0.176	- 49.6	3	2	+ 2.7	+ 1.5
1358	7-3-50	347.533	3.230	- 45.1	5	3	- 12.6	- 13.3
1364	9-3-50	349.504	1.959	+ 30.7	4	3	+ 2.4	+ 0.2
1365	10-3-50	350.501	2.956	+ 6.8	5	3	+ 5.4	+ 5.9
1368	22-3-50	363.467	2.954	+ 13.1	6	4	+ 12.4	+ 12.0
1371/05	23-3-50	364.445	0.690	- 60.1	4	3	+ 6.2	+ 5.7
1371/20	24-3-50	365.373	1.618	+ 13.9	3	2	+ 9.5	+ 8.0
1373/05	24-3-50	365.482	1.727	+ 12.8	3	4	- 0.3	- 2.0
1373/10	28-3-50	369.426	2.429	+ 20.8	3	1	- 18.6	- 18.8
1373/15	4-4-50	376.382	2.901	- 3.6	4	4	- 9.6	- 10.7
1373/20	5-4-50	377.335	0.612	- 56.7	4	3	+ 11.4	+ 10.8
1373/25	5-4-50	377.417	0.694	- 64.8	4	4	+ 1.1	+ 0.9
1373/30	7-4-50	379.381	2.657	+ 23.5	3	4	- 5.2	- 5.7
1374	17-4-50	389.402	2.952	+ 10.5	4	4	+ 11.6	+ 9.1
1375	25-4-50	397.364	1.188	- 34.3	3	4	- 2.6	- 1.2
1376/10	28-4-50	400.366	0.948	- 55.7	6	4	- 4.8	- 3.3
1376/20	2-5-50	404.369	1.709	+ 19.2	3	1	+ 5.5	+ 5.8
1376/30	5-5-50	407.375	1.473	- 2.6	3	2	+ 3.2	+ 4.4
1377/10	6-5-50	408.374	2.472	+ 38.6	5	3	+ 1.0	+ 0.2
1377/30	8-5-50	410.370	1.226	- 33.1	2	2	- 5.5	- 3.4
1377/25	12-5-50	414.356	1.969	+ 30.4	2	3	- 0.8	- 0.6
1377/15	15-5-50	417.353	1.724	+ 18.5	3	2	+ 3.0	+ 3.9
							$p\Delta^2 =$ 3825	$p\Delta^2 =$ 3630

saggio al periastro, la velocità osservata, il numero di righe misurate, il peso assegnato alla lastra, il residuo  $O - C$  dedotto dai valori preliminari degli elementi e quello dai valori finali.

Dopo alcune prove si è scelto come valore preliminare del periodo  $P = 3^{\text{d}}.240$ . Si sono provati anche i periodi spuri (8) (9)  $P_1 \approx 0^{\text{d}}.763$  e  $P_2 \approx 1^{\text{d}}.440$ ; e si è constatato che le osservazioni, mentre escludono sicuramente il primo, soddisfano in generale abbastanza bene al secondo. Nello studio seguente si è scelto però ancora  $P = 3^{\text{d}}.240$  perchè è il periodo adottando il quale si realizza il miglior accordo tra le osservazioni; questa scelta è fondata principalmente sui risultati dello spettro fuori meridiano 1358 e della coppia di spettri presi nella stessa nottata 1371/20, 1373/05.

Applicando il metodo grafico di Lehmann-Filhès si sono ottenuti i seguenti valori preliminari degli altri elementi

$$e = 0.09 \qquad \omega = 105^\circ \qquad T = 2\,433\,328.060 \text{ J. D.}$$

$$K = 54.7 \text{ km/s} \qquad V_0 = -13.0 \text{ km/s}$$

Sebbene data la scarsità e gli errori delle osservazioni non sia logico attendersi di poter raggiungere una determinazione molto più precisa di questi elementi, tuttavia si provò ugualmente ad applicare il metodo dei minimi quadrati, secondo lo schema di Schlesinger (10). Dato il breve intervallo di tempo abbracciato dalle osservazioni (solo 28 cicli) si decise pure di includere anche il periodo tra gli elementi da correggere; ciò obbligò a ricorrere alle osservazioni individuali, per lo meno per il calcolo dei termini delle equazioni normali dove compare esplicitamente il tempo a cui avvenne l'osservazione. Dove lecito, cioè per i termini che dipendono solo dalla fase, si operò invece con le osservazioni raggruppate in 11 luoghi normali; tali luoghi, con le fasi medie finali, le velocità medie osservate, i pesi corrispondenti, ed i residui preliminari e finali, sono riportati nella tabella II.

TABELLA II.

N.	fase media	VR media oss.	peso	(O-C) <sub>prel.</sub>	(O-C) <sub>finale</sub>
1	0.063	- 46.9	5	- 5.8	- 6.8
2	0.668	- 61.0	10	+ 5.8	+ 5.4
3	0.947	- 58.5	8	- 6.0	- 6.0
4	1.201	- 33.9	6	- 3.5	- 2.0
5	1.473	- 2.6	2	+ 3.2	+ 4.4
6	1.700	+ 15.0	9	+ 3.2	+ 2.3
7	1.964	+ 30.6	6	+ 0.8	- 0.3
8	2.461	+ 34.2	4	- 3.9	- 4.6
9	2.664	+ 26.3	8	- 3.1	- 2.4
10	2.940	+ 6.7	15	+ 5.0	+ 4.0
11	3.162	- 27.6	4	- 4.6	- 3.8

Eseguendo i calcoli si ricavano le seguenti correzioni per gli ele-

menti preliminari

$$\delta e = -0.02$$

$$\delta \omega = +6^\circ$$

$$\delta P = +0^d.002$$

$$\delta K = -0.3 \text{ km/s}$$

$$\delta V_0 = +0.9 \text{ km/s}$$

$$\delta T = +0^d.032$$

cosicchè i valori finali degli elementi, con i rispettivi errori probabili, sono

$$P = 3^d.242 \pm 0^d.002$$

$$T = 2\,433\,328.092 \pm 0.172 \text{ J. D.}$$

$$e = 0.07 \pm 0.03$$

$$\omega = 111^\circ \pm 20^\circ$$

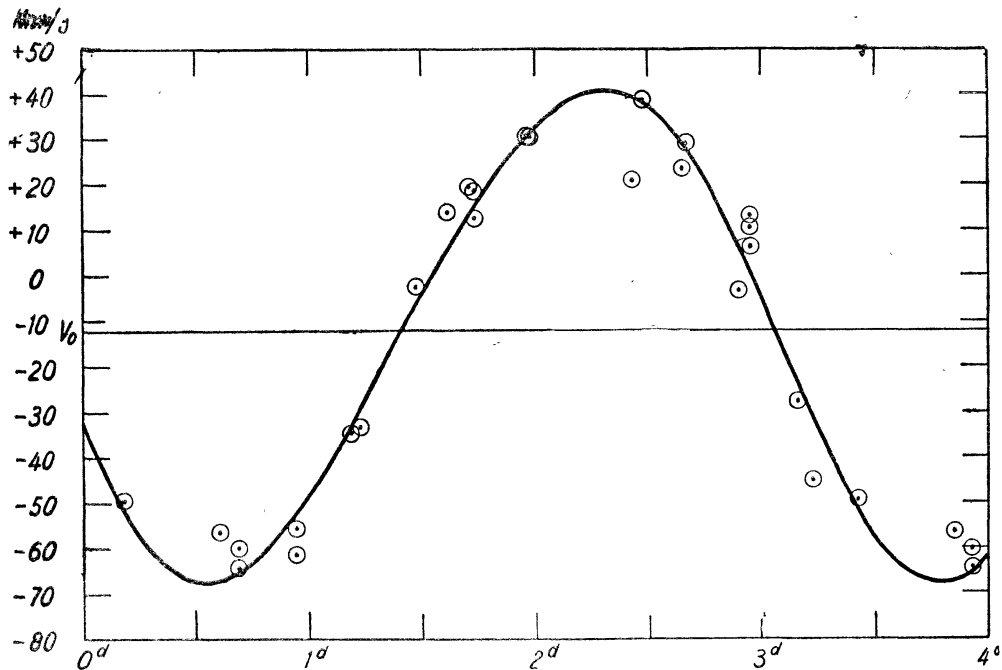
$$K = 54.4 \pm 1.8 \text{ km/s}$$

$$V_0 = -12.1 \pm 1.3 \text{ km/s}$$

$$a_1 \sin i = 2.42 \cdot 10^6 \text{ km}$$

$$\frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2} = 0.054 \odot$$

L'errore probabile relativo a  $V_0$  è naturalmente quello che risulta dal calcolo strettamente analitico; dato lo scarso numero di osservazioni eseguite finora a Merate non si può prevedere l'ammontare di eventuali scarti sistematici nelle  $VR$  misurate.



Con la soluzione precedente la somma dei quadrati dei residui è stata ridotta da 3825 a 3630; questo fatto e la circostanza che le correzioni degli elementi sono al più dello stesso ordine degli errori probabili dimostrano che effettivamente l'applicazione del metodo dei minimi quadrati non dà in questo caso un miglioramento nella precisione degli elementi tale da giustificare la cospicua somma di lavoro richiesta nell'applicazione del metodo.

L'errore probabile di una lastra di peso medio risulta essere  $\pm 4.7 \text{ km/s}$ , valore soddisfacente in considerazione del tipo spettrale di questa stella e della bassa dispersione impiegata.



Le osservazioni individuali con la curva finale di velocità sono riportate nell'annesso grafico.

3. - Con considerazioni statistiche fondate sul diagramma di Hertzsprung-Russell e sulla relazione massa-luminosità e tenendo presente l'assenza del secondario negli spettri, si possono trarre, seppure con scarso peso, alcune indicazioni sulle possibili dimensioni fisiche del sistema HD 88512.

Anzitutto dal tipo spettrale  $A 3$  e dal diagramma  $H - R$  risultano per il primario le grandezze assolute bolometriche e visuali  $M_{b1} = + 1.6$ ,  $M_{v1} = + 2.0$ . Conseguentemente dalla relazione massa-luminosità si ricava per la massa del primario il valore  $m_1 = 2.2 \odot$ .

Per giustificare l'assenza del secondario negli spettri si può ritenere che le grandezze assolute di tale secondario abbiano come valori minimi circa i seguenti  $M_{b2} = + 3.6$ ,  $M_{v2} = + 3.6$  (che risultano corrispondere ad un tipo spettrale  $d F 2$ ). Dalla relazione massa-luminosità segue così per la massa del secondario il valore  $m_2 = 1.3 \odot$ , che rappresenta conseguentemente il valor massimo attribuibile a tale massa. Sostituendo nella funzione di massa nota i precedenti valori di  $m_1$  ed  $m_2$  si ricava un valore dell'inclinazione ( $i = 42^\circ$ ) che è ovviamente un minimo.

A sua volta si ricava il minimo di  $m_2$  pure dalla funzione di massa sostituendovi per  $m_1$  ancora il valore precedente e ponendo  $i = 90^\circ$ , che rappresenta il massimo dell'inclinazione; risulta  $m_2 = 0.8 \odot$ , a cui corrispondono i massimi per le grandezze assolute  $M_{b2} = + 6.0$ ,  $M_{v2} = + 6.4$ .

Dai valori minimi e massimi sopra determinati e dall'espressione nota  $a_1 \sin i$  è immediato ricavare pure i valori minimi e massimi per i semiassi  $a_1$  ed  $a_2$ .

I risultati delle considerazioni precedenti sono conglobati nella seguente tabella

$m_{v1} = 6.6$	$8.2 < m_{v2} < 11.0$	
$M_{b1} = + 1.6$	$+ 3.6 < M_{b2} < + 6.0$	
$m_1 = 2.2 \odot$	$1.3 > m_2 > 0.8 \odot$	
$Sp = A3$	$dF2 - Sp - dK0$	
	$42^\circ < i < 90^\circ$	
$3.6 \cdot 10^6 > a_1 > 2.4 \cdot 10^6 \text{ km}$	$6.1 \cdot 10^6 < a_2 < 6.6 \cdot 10^6 \text{ km}$	

Merate, luglio 1950.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) GRATTON L., Mem. S. A. I., 14, 185; Contr. R. O. Merate, N. 12, (1941).
- (2) PETRIE R. M., J. R. A. S. C., 40, 325; Cont. Dom. Ap. O., N. 4, (1946).
- (3) PETRIE R. M., J. R. A. S. C., 42, 213; Cont. Dom. Ap. O., N. 11, (1948).
- (4) Mc DONALD J. K., J. R. A. S. C., 42, 220; Cont. Dom. Ap. O., N. 12, (1948).
- (5) ADAMS W. e JOY A. H., A. S. P. Publ., 29, 113, (1917); 29, 259, (1917).
- (6) MOORE J. H., Lick Obs. Publ., 18, (1932).
- (7) HARPER W. E., D. A. O. Publ., 6, 297, (1936).
- (8) STRUVE O., Pop. Ast., 36, 411, (1928).
- (9) TANNER R. W., J. R. A. S. C., 42, 177; Comm. Dunlap O., N. 16, (1948).
- (10) SCHLESINGER, Allegheny O. Publ., 1, 33, (1908).