

Veröffentlichung der Dr. Remeis-Sternwarte Bamberg,
Astronomisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg,
Band VII, Nr. 74

Lichtelektrische Drei-Farben-Photometrie des Cepheiden AX Cir = BV 428

HORST MAUDER und EBERHARD SCHÖFFEL

Eingegangen am 22. Juli 1968

Three Colour Photoelectric Photometry of the Cepheid Variable AX Cir = BV 428

Light curves in three colours were obtained and mean dimensions are estimated. The five-day cepheid shows a rather large amplitude defect f_B and seems to be redder than average cepheids of this period, $(B-V)_{\text{mag}}^\circ$ being $0^{\text{m}}.63$. Its distance from the sun is 630 pc, mean dimensions are 40.2 solar radii, 5.97 solar masses, the visual magnitude is $-3^{\text{m}}.41$.

Lichtkurven in den drei Farben U, B und V des Johnsonschen Systems wurden erhalten und die mittleren Dimensionen abgeschätzt. Bei einer Periode von 5.27 Tagen zeigt der Stern einen verhältnismäßig großen Amplitudendefekt f_B . Seine mittlere Farbe $(B-V)_{\text{mag}}^\circ$ ist mit $0^{\text{m}}.63$ etwas röter als man von Cepheiden dieser Periode erwartet. Sein Abstand von der Sonne ist etwa 630 pc, seine mittleren Dimensionen sind 40.2 Sonnenradien, 5.97 Sonnenmassen; seine Helligkeit M_V ist $-3^{\text{m}}.41$.

Einleitung

Die Veränderlichkeit des Sternes AX Cir = BV 428 = HR 5527 wurde von W. STROHMEIER (1964) entdeckt. Es gelang ihm auch (1966) die richtigen Lichtwechselelemente abzuleiten und den Stern als Cepheiden zu klassifizieren. C. und M. JASCHEK (1960) gaben als Spektraltyp G 3 II + B 8? an, spätere Spektren von D. S. EVANS (1965) zeigen keinen Hinweis auf einen Begleiter von frühem Spektraltyp. Eine Sechs-Farben-Photometrie von R. V. WILLSTROP (1967) zeigt, daß ein Begleiter vom Typ B 8 schwächer als $V = 8^{\text{m}}.6$ sein muß, er könnte also auch im Minimum keinen nennenswerten Beitrag zur Helligkeit und Farbe des Sternes liefern. Photometrische Beobachtungen von A. W. J. COUSINS und D. S. EVANS (1967) zeigen, daß die Amplitude des Lichtwechsels für einen Fünf-Tage-Cepheiden verhältnismäßig klein ist; auch seine Farbe ist nach dem Roten verschoben. Der Stern wurde daher am Boyden-Observatory im April und Mai 1967 in 16 Nächten lichtelektrisch gemessen. Genauere Angaben über die Meßapparatur und das Farbsystem des benutzten Photometers erscheinen in einer späteren Arbeit (E. SCHÖFFEL, in Vorbereitung).

Licht- und Farbkurven

Vergleichssterne waren η Cir, HD 125 835, HD 133 683 und HD 135 291. Die Daten dieser Sterne sind in Tab. 1 angegeben. Die Helligkeit von

Tabelle 1. *Daten der Vergleichssterne*

Stern	R.A.(1900)	D.(1900)	Sp.	V	B—V	U—B
η Cir	15 ^h 00 ^m .6	−63°8	G5	5 ^m .16	+0 ^m .94	+0 ^m .54
HD 125 835	14 ^h 20 ^m .9	−68°0	A2p	5 ^m .60	+0 ^m .49	−0 ^m .01
HD 133 683	15 ^h 05 ^m .0	−66°9	F8p	5 ^m .76	+0 ^m .69	+0 ^m .38
HD 135 291	15 ^h 13 ^m .4	−63°4	K0	4 ^m .85	+1 ^m .26	+1 ^m .32

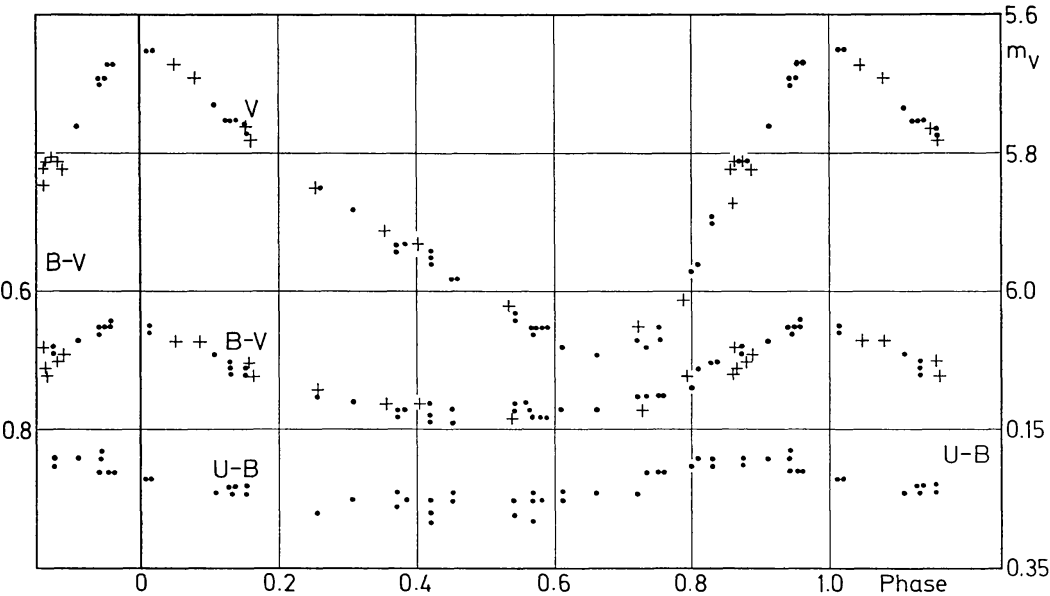


Abb. 1. Lichtkurve in V, Farbkurven in B—V und U—B von AX Cir = BV 428. Kreuze sind Werte von COUSINS und EVANS

BV 428 wurde gegen η Cir bestimmt, die drei anderen Sterne dienen als Check-Sterne. Für alle Meßpunkte wurde die differentielle Extinktion in Helligkeit und Farbe berücksichtigt, $\Delta \sec z$ erreichte nur in zwei Punkten den Wert 0.11, in allen anderen Fällen war die Differenz der Zenitdistanzen erheblich kleiner. Die Lichtkurve in V und die beiden Farbkurven in B—V und U—B sind in Abb. 1 dargestellt. Die V- und B—V-Werte von COUSINS und EVANS (1967) sind ebenfalls mit eingetragen. Die Phasen wurden gerechnet nach der Formel

$$JD_{\max} = 243\,8199.325 + 5.27375\,E\,.$$

Tabelle 2. *Einzelbeobachtungen*

J.D.	V	B—V	U—B	Phase
2439601.4757	5.81	+.68	+.20	.874
.4813	5.81	.69	.19	.875
9604.3500	5.94	.79	.27	.419
.3569	5.96	.76	.28	.420
.3632	5.95	.78	.25	.421
.5257	5.98	.77	.25	.452
.5326	5.98	.79	.24	.453
9608.2313	5.77	.72	.24	.155
9610.2806	6.03	.77	.25	.543
.2861	6.04	.76	.27	.544
.6369	6.08	.77	.25	.610
9611.2264	6.07	.75	.24	.722
.2972	6.08	.75	.21	.736
.6354	5.97	.74	.20	.800
9612.2139	5.76	.67	.19	.910
9613.2584	5.73	.69	.24	.108
.4910	5.76	.71	.23	.152
9614.3098	5.88	.76	.25	.307
9619.3021	5.85	.75	.27	.254
9621.4570	6.09	.77	.24	.662
9622.2341	5.96	.71	.19	.810
9625.1986	5.93	.78	.24	.372
.2042	5.94	.77	.26	.373
.2618	5.94	.77	.25	.384
9626.2341	6.05	.76	.28	.568
.2396	6.05	.77	.25	.569
.2452	6.06	.78	.24	.570
.3042	6.05	.78	.25	.582
.3098	6.05	.78	.24	.583
9627.2077	6.05	.75	.21	.753
.2139	6.07	.75	.21	.754
.6125	5.90	.70	.19	.830
.6188	5.89	.70	.20	.831
9628.2042	5.69	.65	.21	.942
.2098	5.70	.65	.19	.943
.2153	5.69	.66	.18	.944
.2720	5.67	.64	.21	.955
.2806	5.67	.65	.22	.956
.5764	5.65	.65	.22	.012
.5820	5.65	.66	.22	.013
9629.1993	5.75	.72	.23	.130
.2049	5.75	.70	.23	.131
.2105	5.75	.71	.24	.133

Für einen Cepheiden der Periodenlänge 5 Tage ist die Amplitude ziemlich klein, man erwartet fast den doppelten Wert. Erwartungsgemäß sind die Farbkurven etwas phasenverschoben, das Maximum in B–V tritt früher ein als das Maximum der Helligkeit in V. Die Beobachtungsdaten sind in Tab. 2 angegeben.

Verfärbung

Die nach der Definition von R. P. KRAFT (1961a) gebildete mittlere Farbe $(B-V)_{\text{mag}}^{\circ}$ von BV 428 ist $0^{\text{m}}73$; aus seiner Perioden-Mittlere Farben-Beziehung (R. P. KRAFT, 1961b) folgt $(B-V)_{\text{mag}}^{\circ} = 0^{\text{m}}60$. Der beobachtete Wert für B–V im Maximum ist $0^{\text{m}}65$; nimmt man dagegen die Farben eines F 4 oder F 6 Sternes als die richtigen Farben für das Maximum an, so erhält man $(B-V)_0 = 0^{\text{m}}43$ bzw. $0^{\text{m}}50$. Leider sind nicht genügend Spektren verfügbar, D. S. EVANS (1965) gibt bei den Phasen 0.99 und 0.93 die Spektraltypen F 7 II und F 2 II an. Auf jeden Fall liegt der Wert von B–V stets so nahe bei $0^{\text{m}}5$, daß für den Farbexceß E_u von U–B der Wert

$$E_u = 0.73 E_v$$

angenommen werden kann, wobei E_v der Farbexceß von B–V ist (W. A. HILTNER und H. L. JOHNSON, 1956). Bei einem Wert von $E_v = 0^{\text{m}}23$, also Spektraltyp F 4 im Maximum, erhält man $E_u = 0^{\text{m}}17$. Aus dem Zwei-Farben-Diagramm für Hauptreihensterne und der beobachteten, um den Farbexceß korrigierten B–V-Kurve erhält man eine U–B-Kurve, deren Amplitude ebenso gering ist wie die Amplitude der beobachteten Kurve. Die gemessenen U–B-Werte sind aber auch nach Berücksichtigung des Farbexcesses noch um $0^{\text{m}}05$ zu rot. Bei kleineren Verfärbungswerten E_v und damit E_u werden die Farben U–B noch stärker nach Rot verschoben, außerdem wird die Amplitude der Farbkurve größer. Ein unsichtbarer Begleitstern der visuellen Helligkeit $V = 8^{\text{m}}6$ kann die Amplitude der U–B-Kurve nur um $0^{\text{m}}01$ ändern, wenn er früher als B 5 ist. Ungeklärt ist allerdings noch die Möglichkeit eines Begleiters von späterem Spektraltyp. Da die U–B-Werte für die Leuchtkraftklassen Ib bzw. II doch erheblich von den Werten für die Hauptreihe abweichen können, besonders in den verschiedenen Phasen von Pulsationsveränderlichen, können die zu roten Werte von U–B nicht ohne weiteres als Verfärbung gedeutet werden. Vor allen Dingen würde der Spektraltyp, wie er aus der $(B-V)_0$ -Kurve folgt, bei dieser starken Verfärbung zwischen F 4 im Maximum und F 8 im Minimum wechseln. Die sechs Spektren von D. S. EVANS (1965) sind aber um das Maximum G 0, F 7 und F 2 und um das Minimum G 1, G 2 und F 8. Der Stern muß also rötter sein, der angenommene Farbexceß $E_v = 0^{\text{m}}23$ ist deutlich zu hoch. Bessere Übereinstimmung zwischen den Farben

und Spektren erhält man mit $E_y = 0^m15$. Wahrscheinlich ist die Farbe $B-V$ des Sternes etwas röter, als es dem Mittelwert der Perioden-Farbe-Beziehung entspricht. Bildet man nach R. P. KRAFT (1964) den „Amplituden-Defekt“ f_B ,

$$2.5 \log f_B = (\Delta B_*) - (\Delta B_{\max}),$$

wobei (ΔB_*) die Amplitude des Lichtwechsels im blauen Spektralbereich ist und $(\Delta B_{\max})$ die maximale beobachtete Lichtwechselamplitude bei Cepheiden der gleichen Periode, so erhält man die Abweichung $\delta(B-V)_0$ von der Periode-mittlere Farbe-Beziehung als Funktion von f_B . Für BV 428 ist $f_B = 0.53$; daraus ergibt sich näherungsweise $\delta(B-V)_0 = 0^m10$. An sich könnte der Stern auch um diesen Betrag blauer sein, als es der mittleren Farbe entspricht. Dann würde aber der Farbexzeß $E_y = 0^m23$ sein müssen, was mit den Spektren in Widerspruch steht. Aus f_B folgt $E_y = 0^m05$ als plausibler Wert, nach den Spektren sollte $E_y = 0^m15$ sein. Im Folgenden wird für den Farbexzeß daher $E_y = 0^m10$ angenommen. Die galaktische Breite des Sternes ist zwar nur 4° , sein Abstand von der Sonne etwa 600 pc. Der Wert für E_y erscheint also durchaus vernünftig.

Dimensionen

Da für BV 428 keine Radialgeschwindigkeitskurve vorliegt, konnte die Methode von A. J. WESSELINK (1946) zur Durchmesserbestimmung nicht herangezogen werden. Die relativen Änderungen des Radius im Verlaufe der Pulsation wurden aus der Farb- und Helligkeitskurve bestimmt. Zur Berechnung der effektiven Temperatur aus der Farbe $B-V$ diente die Formel

$$\Theta_e = 0.643 + 0.337 (B-V)_0$$

von J. B. OKE (1961 b). Der Strahlungsfluß F_λ wurde den Tafeln von R. CANAVAGGIA und J. C. PECKER (1953) entnommen. Aus der Formel von J. B. OKE (1961 a)

$$2.5 \log (L/L_0)_\lambda - 2.5 \log (F/F_0)_\lambda = 5 \log (R/R_0)$$

läßt sich dann R/R_0 bestimmen. Als Radius R_0 wurde dabei der Radius bei der Phase 0.8 benutzt. Abb. 2 zeigt die Änderungen des Radius während einer Pulsationsperiode. Die wenigen Spektren von D. S. EVANS (1965) reichen nicht aus, den absoluten Wert für den Radius zu bestimmen. Der mittlere Radius läßt sich aber aus der effektiven Temperatur und der absoluten Leuchtkraft gut abschätzen, wenn man für letztere den Wert aus der empirischen Perioden-Farben-Leuchtkraft-Beziehung bestimmt. Setzt man für die Pulsationskonstante $\log Q = -1.30$ an, so folgt aus der Formel von R. P. KRAFT (1963)

$$\begin{aligned} \log P - 0.3854(B-V) \\ - 0.1685(B-V)^2 + 0.2394 M_V^0 = \log Q + 0.8958 \end{aligned}$$

der Wert $M_V^0 = -3.41$. Die bolometrische Korrektur ist im vorliegenden Falle klein, es ist $M_{\text{bol}} = -3.44$. Aus den Gleichungen

$$M_{\text{bol}} = 42.31 - 5 \log R - 10 \log T_e \quad (\text{D. L. HARRIS, 1963})$$

und

$$M_{\text{bol}} = 2.96 - 8.25 \log \mathfrak{M}/\mathfrak{M}_{\odot} \quad (\text{R. P. KRAFT, 1963})$$

folgt für den mittleren Radius $R = 40.2 R_{\odot}$ und für die Masse $\mathfrak{M} = 5.97 \mathfrak{M}_{\odot}$. Bei der Annahme einer Gesamtaborption im Visuellen $A_V = 3 E_V$ ergibt sich $r = 630$ pc als Abstand von der Sonne.

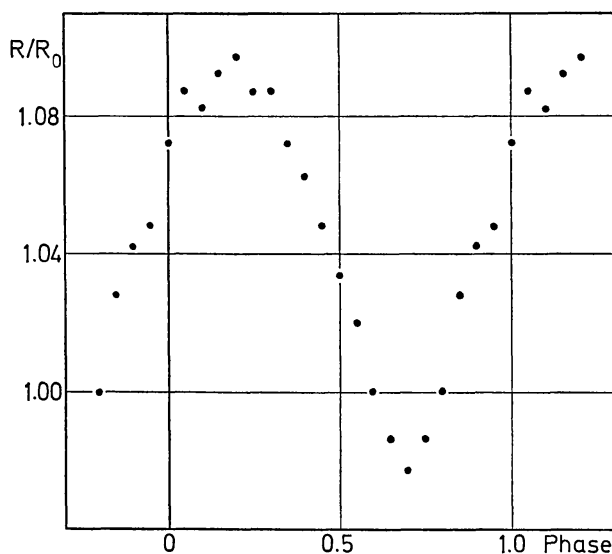


Abb. 2. Relative Änderung des Radius während der Pulsation

Es ist wünschenswert, diesen hellen Cepheiden spektroskopisch zu beobachten, damit seine Dimensionen unabhängig von mittleren Beziehungen abgeleitet werden können. Ungeklärt ist die Frage nach einem Begleiter späteren Spektraltyps als A 0. Eine genaue Bestimmung des Farbexcesses ist notwendig, da der Amplitudendefekt f_B bei den größten beobachteten Werten liegt und die Farbabweichung $\delta(B-V)_0$ daher möglichst gut bestimmt werden sollte.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei für die Gewährung einer Sachbeihilfe gedankt, durch die einer von uns (E. S.) am Boyden Observatory die Beobachtungen durchführen konnte.

Literatur

- CANAVAGGIA, R., et J. C. PECKER: *Ann. Astrophys.* **16**, 263 (1953).
 COUSINS, A. W. J., and D. S. EVANS: *Monthly Notes Astr. Soc. South. Africa* **26**, 84 (1967).
 EVANS, D. S.: *Monthly Notes Astr. Soc. South. Africa* **24**, 11 (1965).
 HARRIS, D. L.: In: *Basic astronomical data*, ed. K. AA. STRAND, p. 263. Chicago: Univ. of Chicago Press 1963.

- HILTNER, W. A., and H. L. JOHNSON: *Astrophys. J.* **124**, 367 (1956).
 JASCHEK, C., u. M. JASCHEK: *Publ. Astron. Soc. Pacific* **72**, 500 (1960).
 KRAFT, R. P.: *Astrophys. J.* **133**, 39 (1961a).
 — *Astrophys. J.* **133**, 57 (1961b).
 — In: *Basic astronomical data*, ed. K. AA. STRAND, p. 421. Chicago: Univ. of Chicago Press 1963.
 OKE, J. B.: *Astrophys. J.* **133**, 90 (1961a).
 — *Astrophys. J.* **134**, 214 (1961b).
 SCHÖFFEL, E.: Veröff. Dr. Remeis-Sternwarte Bamberg, in Vorb.
 STROHMEIER, W.: *Inf. Bull. Var. Stars* 1964, 55; 1966, 159.
 WESSELINK, A. J.: *Bull. Astron. Inst. Neth.* **10**, 91 (1946).
 WILLSTROP, R. V.: *Monthly Notes Astr. Soc. South. Africa* **26**, 13 (1967).

Dr. HORST MAUDER
 Dipl.-Phys. EBERHARD SCHÖFFEL
 Dr. Remeis-Sternwarte,
 Astronomisches Institut der
 Universität Erlangen-Nürnberg
 8600 Bamberg
 Sternwartstr. 7