

Eine photometrische Lösung für das enge Doppelsternsystem V1229 Scorpii

A photometric solution for close binary system V1229 Scorpii

Norbert Hauck

Abstract: Existing photometry data for V1229 Sco have been completed in passbands UBV_Ic. Modelling of the light curves has revealed a detached binary system, in spite of the short orbital period of 1.86 days and contrary to information of all known literature. Having identified the secondary component as a late A- or early F-type dwarf allowed the deduction of absolute parameters of the B-type primary component: a radius of $4.14 \pm 0.52 R_{\odot}$ and a mass of $6.93 \pm 0.40 M_{\odot}$. This B-star's unusually low T_{eff} of about 16400 K and other hints makes it a chemically peculiar (CP) star candidate.

Für Doppelsternsystem V1229 Sco (HD 157696; HIP 85377) wurde von S.A. Otero [1] aus photometrischen Daten der Hipparcosmission (Hp) (Perryman et al., 1997) und ASAS-3 (Pojmanski, 2002) eine Bahnperiode von 1.86 Tagen ermittelt und eine als Typ EB klassifizierte Lichtkurve beigefügt. Von N. Houk [2] wurde Spektraltyp B4 III angegeben. Typ EB und Leuchtkraftklasse III mussten jedoch korrigiert werden (s. u.).

Mit einem per Internet gesteuerten 0.5-m-CDK-Spiegelteleskop in Siding Spring, Australien, wurden nun neue photometrische Daten in den Bändern UBV_Ic gewonnen. Zur Reduzierung von Szintillationseffekten wurden die Daten aus jeweils bis zu 7 CCD-Bildern gemittelt. Vergleichssterne war HD 157646 (Sp.typ B3, in 9' Abstand).

Mit Hilfe der *Binary Maker 3* – software (BM3) (Bradstreet & Steelman, 2004) wurden den photometrischen Daten berechnete Lichtkurven angepasst. Die endgültige Lösung hat ein sigma-Fit von 8, 9, 6 und 10 mmag in den Bändern UBV_Ic erzielt. Wegen fehlender Anzeichen einer Exzentrizität wurde eine Kreisbahn angenommen. Die Lichtkurve des Typs EA zeigt im Nebenminimum eine totale Bedeckung (s. Abb. 1-3). Beide Sterne sind getrennt und füllen ihr Roche-Volumen nicht aus.

Die Oberflächentemperatur T_{eff} der Primärkomponente wurde J.B. Kaler [3], Abb. 3.12, für den korrigierten Spektraltyp B4 V entnommen. Die Lichtkurvenmodellierung lieferte dann T_{eff} der Sekundärkomponente. Unter der Annahme desselben Alters beider Sterne wurde der sich relativ langsam entwickelnde Sekundärstern auf das Alter Null der Hauptreihe im Sternmodell von Ekström et al. [4] ($Z=0.014$, mit Rotation) gesetzt, und seine Masse und bolometrische Leuchtkraft (und Radius R) entnommen. Aus dem bei der Modellierung gut bestimmbaren Massenverhältnis q hat sich auch die Primärsternmasse ergeben. Die Gesamtmasse des Systems lieferte dann nach Kepler's drittem Gesetz den Bahnradius a . Das aus den absoluten Dimensionen berechnete Verhältnis R/a passte unmittelbar ausgezeichnet zum R/a aus der Modellierung. Beide Massen und Radien sollten daher die korrekten Werte haben.

Nach o.g. Sternmodell sollte unser B-Stern in etwa $29 \cdot 10^6$ Jahren bereits in der Mitte der Hauptreihe auf die berechnete Größe angewachsen. Aus Leuchtkraftklasse III muss daher V werden, d.h. der blaue Riese wird zum blauen Zwerg. Das Sternmodell

erfordert zudem eine deutlich höhere T_{eff} des Primärsterns (19700 K statt 16400 K) bei seiner Masse und Radius. Dies ist jedoch durch anormale Häufigkeiten chemischer Elemente an seiner Oberfläche erklärbar, die manchmal in heißen Hauptreihensternen auftreten, insbesondere in ungewöhnlich langsam rotierenden Sternen, verursacht z.B. durch Abbremsung mittels Gezeitenreibung in engen Doppelsternen. Es ist ebenfalls bekannt, dass die absonderlichen Spektrallinienstärken dieser Sterne zu überschätzten Leuchtkraftklassen (z.B. III statt V) führen können. Unser B-Stern sollte daher zu den sogenannten chemisch pekuliären (CP) Sternen gehören.

HD 49333 ist z.B. ein B-Stern ähnlicher Masse und T_{eff} , der gemäss o.g. Sternmodell eine T_{eff} von 20400 K statt der gemessenen 15800 K haben sollte. Er hat einen abgeleiteten Radius von $3.4 R_{\odot}$, rotiert in 2.18 Tagen und ist ein He-weak (CP4) Stern (Cidale et al. [5]). Und wieder gibt [2], (1988), Leuchtkraftklasse II/III anstelle der V an.

Unsere Resultate sind in den Tabellen 1 und 2 enthalten. Die aus der Modellierung ermittelte Entfernung von V1229 Sco beträgt 830 pc, und liegt gut im 1-sigma-Bereich des parallaxenbasierten Wertes von Hp (329 – 1220 pc). Aus dem Farbexzess im B–V wurde eine interstellare Absorption $A_v = 0.80$ mag abgeleitet und verwendet.

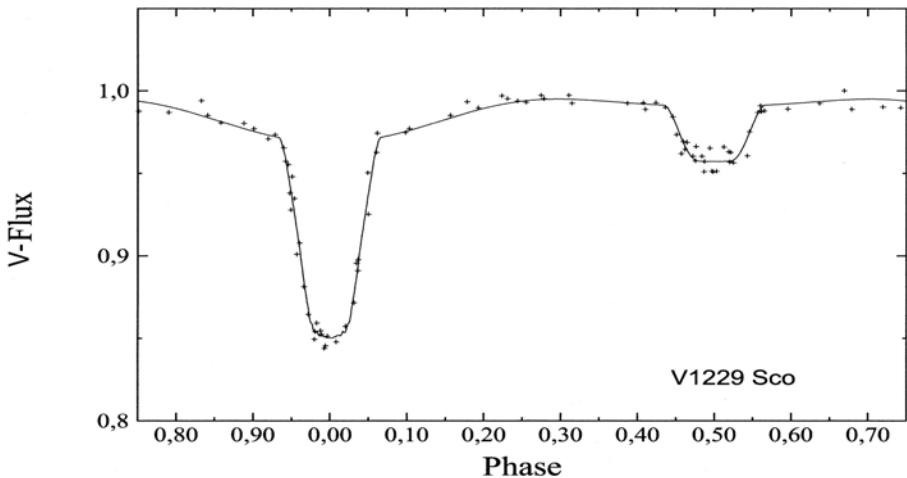


Abb. 1: Berechnete Lichtkurve und Asas/Hp/Neue-Daten für V1229 Sco im V-Band

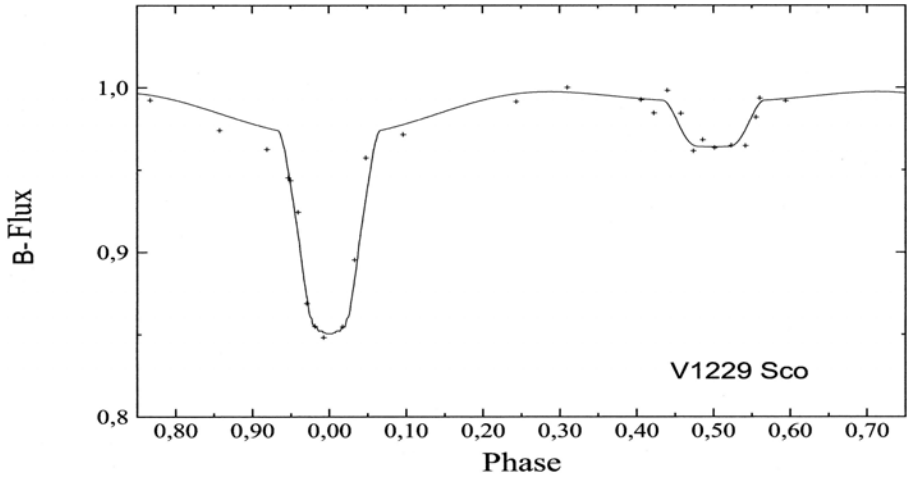


Abb. 2: Berechnete Lichtkurve und neue Daten für V1229 Sco im B-Band (440 nm)

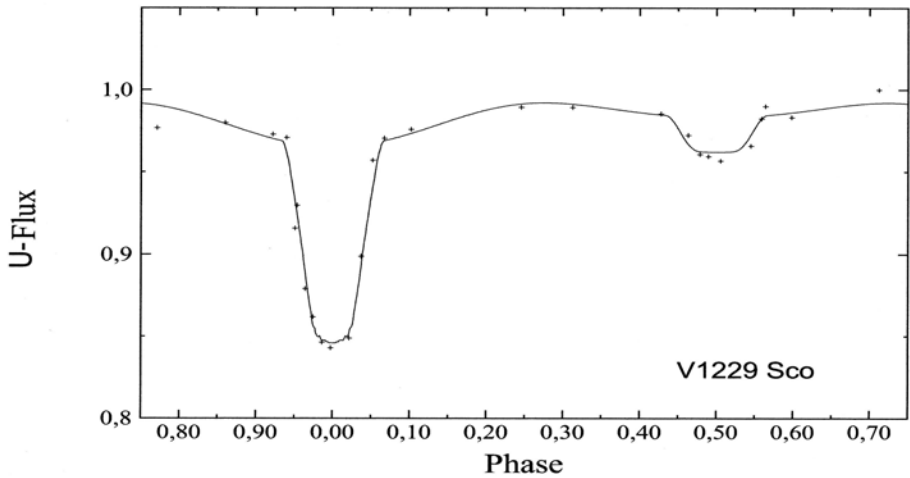


Abb. 3: Berechnete Lichtkurve und neue Daten für V1229 Sco im U-Band (360 nm)

Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems V1229 Sco

Epoche 0 [HJD]	2447921.798(6)	Mitte Hauptmin.(Hp+Asas+ND)
Periode [Tage]	1.859839(2)	von [1] (u. Neuen Daten (ND))
Gesamtlicht [V/Bmag]	8.94/9.01	von Simbad (und Asas)
Hauptminimum [V/Bmag]	9.11/9.18	(Hp + Asas + ND) / ND
Nebenminimum [V/Bmag]	8.98/9.04	(Hp + Asas + ND) / ND
Minimumdauer [Stunden]	5.9	1.9 (Kontakt 2 – 3)
Bahnneigung i [Grad]	80.6 \pm 0.6	
Bahnradius [R_{\odot}]	12.97 \pm 0.25	kreisförmige relative Bahn
Entfernung [pc]	830 \pm 108	Modellierungsfit
Alter [Myr]	29	nach Sternmodell von [4]

Tabelle 2: Parameter der Komponenten von V1229 Sco

Parameter	Primarstern	Sekundärstern
Spektraltyp	B4 V	F0 (A8-F1) V, geschätzt
Teff [K]	16400 \pm 800	7300 \pm 350
Radius (Volumen) [R_{\odot}]	4.14 \pm 0.52	1.42 \pm 0.18
Leuchtkraft (bolometr.) [$\log L_{\odot}$]	3.05 \pm 0.11	0.71 \pm 0.11
Helligkeit (absolut) [VMag]	- 1.44	+ 2.91
Masse [M_{\odot}]	6.93 \pm 0.40	1.55 \pm 0.09

Quellen:

- [1] S.A. Otero, IBVS **5480**, (2003), <http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html>
[2] N. Houk, Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 2, Univ. Michigan, (1978)
[3] J.B. Kaler, Stars and their spectra, 2nd edition, Cambridge University Press, (2011)
[4] S. Ekström et al., A&A **537**, A146, (2012)
[5] L.S. Cidale et al., A&A **468**, 263, (2007)

Danksagungen

This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg, France, <http://cdsarc.u-strasbg.fr/> and the database of All Sky Automated Survey ASAS, <http://www.astro.uw.edu.pl/asas/>

A photometric solution for close binary system V1229 Scorpii

Norbert Hauck

Abstract: Existing photometry data for V1229 Sco have been completed in passbands UBVIc. Modelling of the light curves has revealed a detached binary system, in spite of the short orbital period of 1.86 days and contrary to information of all known literature. Having identified the secondary component as a late A- or early F-type dwarf allowed the deduction of absolute parameters of the B-type primary component: a radius of $4.14 \pm 0.52 R_{\odot}$ and a mass of $6.93 \pm 0.40 M_{\odot}$. This B-star's unusually low T_{eff} of about 16400 K and other hints makes it a chemically peculiar (CP) star candidate.

For binary system V1229 Sco (HD 157696; HIP 85377) an orbital period of 1.86 days has been determined by S.A. Otero [1] based on photometric data from the Hipparcos (Hp) mission (Perryman et al., 1997) and ASAS-3 (Pojmanski, 2002), and a light-curve plot classified as type EB has been added. A spectral type of B4 III has been given by N. Houk [2]. However, light curve type EB as well as luminosity class III had to be corrected (see below).

Additional photometric data in the passbands UBVIc have now been produced with an internet-controlled 0.5m-reflector telescope of CDK design in Siding Spring, Australia. Data from up to 7 CCD images each have been averaged in order to control scintillation effects. B3-type star HD 157646 in 9' angular distance was used as a comparative star.

With help of the *Binary Maker 3* – software (BM3) (Bradstreet & Steelman, 2004) computed light curves have been fitted to the photometric data. The final solution has achieved a sigma-fit of 8, 9, 6 and 10 mmag for passbands UBVIc, respectively. Since no signs of eccentricity have been found, a circular orbit has been adopted. The light curve is of type EA and shows a total eclipse in the secondary minimum (see Fig. 1-3). Both stars are detached and do not fill out their Roche volume.

The surface temperature T_{eff} of the primary component was taken from J.B. Kaler [3], Fig. 3.12, for corrected spectral type B4 V. Light-curve modelling then delivered T_{eff} of the secondary component. Adopting the same age for both stars the relative slowly evolving secondary has been placed on the zero-age main sequence of the modern stellar model of Ekström et al. [4] for solar metallicity $Z = 0.014$ with rotation. Mass and bolometric luminosity (and radius R) of the secondary has then be taken from this model. Binary's mass ratio q could be well determined in the modelling procedure, and has given the mass of the primary too. The total mass of the binary then delivered orbital radius a via Kepler's 3rd law. The ratio R/a calculated from the obtained absolute dimensions fitted excellent to the R/a ratio of the modelling without any need for further adaptations. Hence both masses and radii should have the correct values.

According to the stellar model of [4] our B star should grow in about 29 Myr to the computed size already in the middle of the main-sequence band. Hence luminosity class III has to be reduced to V, i.e. the supposed blue giant is in reality a blue dwarf.

The stellar model still requires a significantly higher T_{eff} of the primary (19700 K instead of 16400 K) in order to match its mass and radius. However, this inconsistency can be explained logically by abnormal abundances of chemical elements in the surface layer, which sometimes occur among hot main-sequence stars, especially in unusually slow rotating stars, e.g. caused by tidal friction braking in close binaries. It is also known that the peculiar spectral-line strengths of these stars can lead to overestimated luminosity classes, e.g. a shift from V to III as in our case. Hence our B star should belong to the so-called chemically peculiar (CP) stars.

HD 49333 is e.g. a B star of similar mass and T_{eff} , which according to the above stellar model should have a T_{eff} of 20400 K instead of the measured 15800 K. It has a derived radius of 3.4 R_{\odot} , a rotation period of 2.18 days, and is known as a He-weak (CP4) star (see Cidale et al. [5]). And again, like in our case, Michigan's spectral classification [2], (1988), reports a luminosity class II/III instead of V.

Our results are presented in Tables 1 and 2. The distance of V1229 Sco obtained from the modelling is about 830 pc, and well inside the 1-sigma range of the parallax-based values from the Hipparcos mission (329 – 1220 pc). From the color excess in B–V an interstellar absorption $A_v = 0.80$ mag has been derived and applied.

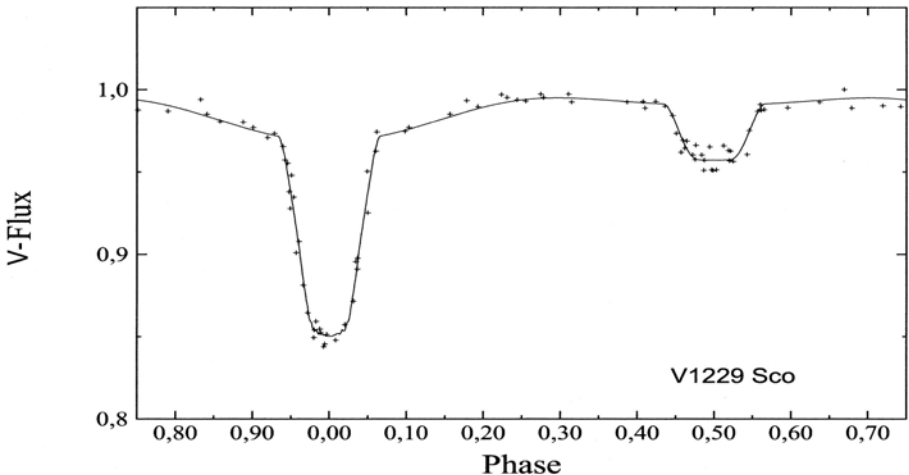


Fig. 1: Computed light curve and Asas/Hp/New-data for V1229 Sco in passband V

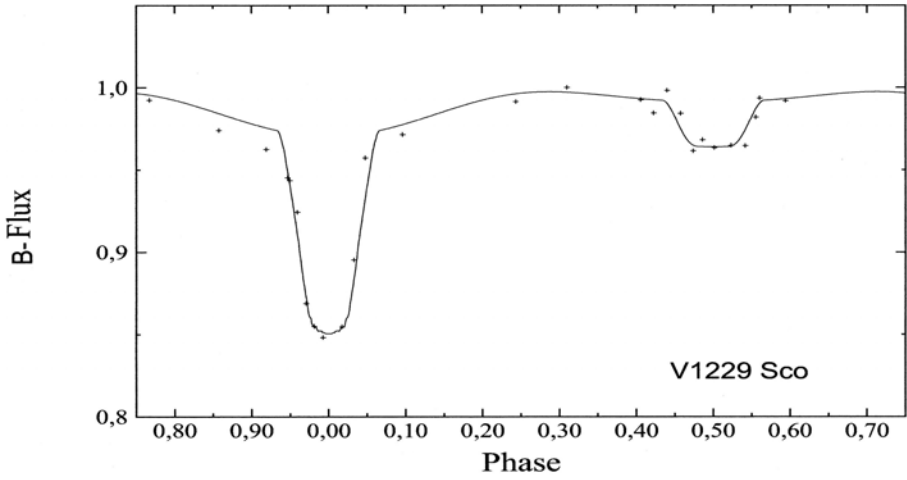


Fig. 2: Computed light curve and new data for V1229 Sco in passband B (440 nm)

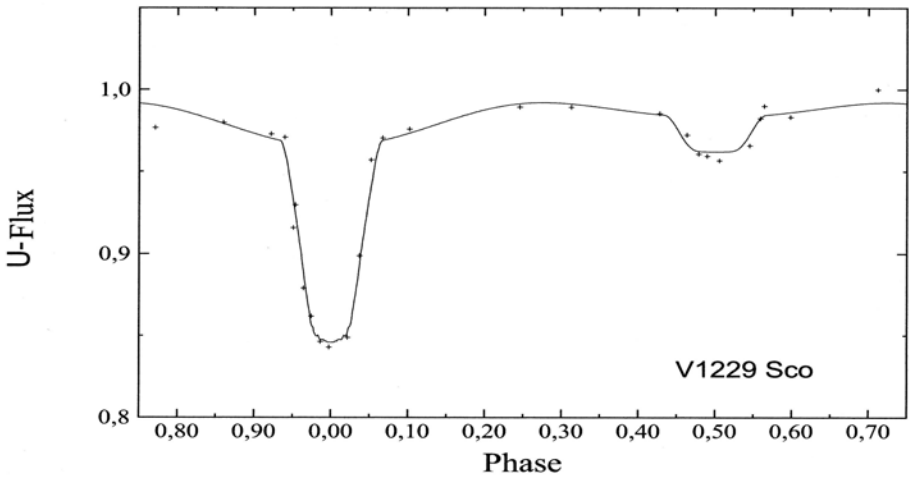


Fig. 3: Computed light curve and new data for V1229 Sco in passband U (360 nm)

Table 1: Parameters of binary system V1229 Sco

Epoch 0 [HJD]	2447921.798(6)	mid prim. min. (Hp+Asas+ND)
Period [days]	1.859839(2)	from [1] (and New Data (ND))
Total light [V/Bmag]	8.94/9.01	from Simbad (and Asas)
Primary minimum [V/Bmag]	9.11/9.18	(Hp + Asas + ND) / ND
Second. minimum [V/Bmag]	8.98/9.04	(Hp + Asas + ND) / ND
Minimum duration [hours]	5.9	1.9 (contact 2 – 3)
Orbital inclination i [deg]	80.6 ± 0.6	
Orbital radius [R_o]	12.97 ± 0.25	circular relative orbit
Distance [pc]	830 ± 108	modelling fit
Age [Myr]	29	from stellar model of [4]

Table 2: Parameters of components of V1229 Sco

Parameter	Primary	Secondary
Spectral type	B4 V	F0 (A8-F1) V, estimated
Teff [K]	16400 ± 800	7300 ± 350
Radius (volume) [R_o]	4.14 ± 0.52	1.42 ± 0.18
Luminosity (bolometric) [$\log L_o$]	3.05 ± 0.11	0.71 ± 0.11
Brightness (absolute) [VMag]	- 1.44	+ 2.91
Mass [Mo]	6.93 ± 0.40	1.55 ± 0.09

References:

- [1] S.A. Otero, IBVS **5480**, (2003), <http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html>
[2] N. Houk, Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 2, Univ. Michigan, (1978)
[3] J.B. Kaler, Stars and their spectra, 2nd edition, Cambridge University Press, (2011)
[4] S. Ekström et al., A&A **537**, A146, (2012)
[5] L.S. Cidale et al., A&A **468**, 263, (2007)

Acknowledgements:

This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg, France, <http://cdsarc.u-strasbg.fr/> and the database of All Sky Automated Survey ASAS, <http://www.astro.uw.edu.pl/asas/>

Norbert Hauck, F-83400 Hyères, hnhauk@yahoo.com