

The first eclipsing B-shell + sdO binary discovered in HD 328058

Norbert Hauck

Abstract: *An eclipsing binary with an orbital period of 62 days has been discovered in HD 328058 and studied by UBVlch photometry. Combining the results of light curve modelling with existing stellar models and known B3-shell spectral type of the primary star then allowed a reliable estimation of the mass, radius and effective temperature of both components: about 6.9 Msun, 5.2 R_{sun} and 17600 K for the primary star, and about 0.78 Msun, 1.20 R_{sun} and 56000 K for the hot subdwarf companion of type sdO. Obviously, this binary has been created by mass transfer of the envelope of the sdO progenitor to our primary star, now being a rapidly rotating shell star. Its spheroidal distortion and its decretion disk can be studied here unusually well. [German + English version of this paper: www.bav-astro.eu/rb/rb2019-3/109.html (or pdf)].*

HD 328058 being located in the constellation of Norma is described as a single star in the SIMBAD database. The only literature reference therein (Nesterov et al. [1]) gives a spectral type B3. Bidelman et al. [2] have attributed spectral type B shell and mentioned spectral variability. From GAIA-DR2 we get a preliminary distance of 951 (908 - 999) pc. Data mining and processing of old photometry data from ASAS-3 has now revealed that this stellar object is indeed an eclipsing binary with an orbital period of 62 days (see Fig. 1).

A remote controlled 0.5m-reflector telescope in Siding Spring, Australia, has been used to obtain more precise and complete photometric data in passbands UBVlch. HD 328064 has been the main comparative star. The primary minimum of the light curve is located between the phases ≈ 0.973 and 0.027 , and is showing a larger outer part obviously created by absorption of light of the smaller secondary component by the decretion disk seen edge-on (resp. 'shell') surrounding the equator of our B-type primary star. The inner resp. central part of the minimum between phase 0.9943 and 0.0057 is caused by the stellar eclipse, when the companion star is covered by the primary star (see Fig. 1). The shallow secondary minimum has not been found in the data of ASAS-3 or ASAS-SN, however, finally been detected at phase 0.50 in our new data. In the model created with the *Binary Maker 3* (BM 3) software (Bradstreet & Steelman, 2004) it has a depth of 16, 21, 27 and 30 mmag in passbands UBVlch, respectively. This has been confirmed by our photometry in lc. The somewhat smaller than predicted depths measured at shorter wavelengths λ might be caused by a larger limb darkening effect (λ) of the distorted shell star, compared to the standard model used in the BM 3.

Our new photometric data have been used for light curve modelling of the central star eclipses with the *Binary Maker 3* software. The best fit of the primary minimum achieved a σ -Fit of 1.5 mmag for a circular orbit (see Fig. 2). The partial eclipse is deep (≈ 76 % of totality) and allows a detailed study of the rotational distortion of the primary star to an oblate spheroid (see to-scale Fig. 3.1 and 3.2). The ratio of its equatorial to polar radius was found to be $5.58 R_o / 4.34 R_o$, i.e. ≈ 1.29 at a fitted super-synchronous rotation factor of 81.1.

The permanent absorption of primary star's light by half of its decretion disk, and the only temporary absorption of the light of the secondary star by the entire disk diameter at primary minimum require separate modelling of both minima. The entire disk causes a significant loss of light of the secondary star of about 59% in passband U, 53% in B, 51% in V, 58% in Ic, and 72% in H alpha, which is regarded as an indication of a decretion disk consisting of relatively dense gas. Our eclipse geometry requires a disk having a rim width of at least primary star's polar diameter, and therefore having a remarkably large opening angle (starting at the equator) in a cross-sectional view.

Spectral type B3 (from ref. [1]) is equivalent to a T_{eff} of about 17000 K in our equatorial view. Comparative modelling with the BM3 gives a mean T_{eff} of 17600 K over the full surface area, i.e. including the hotter polar regions of the rapidly rotating star. In a stellar model with no rotation the theoretical mean T_{eff} is higher, i.e. about 19200 K.

Secondary star's T_{eff} has been investigated by modelling the light curves of the central primary minimum. The first results showed clear wavelength (λ) dependence, i.e. a T_{eff} of 33, 37, 42 and 45 kK in the passbands UBVIc, respectively. This effect is regarded as reddening of the secondary star by a thick and dusty accretion disk, possibly puffed up by its intense radiation pressure, and has been incorporated in the model. Therefore, the extinction $A(\lambda)$ has been compensated by reducing the size of this star (in an artificial total eclipse), and strictly in line with the extinction law and coefficients of Cardelli et al. [3]. Thereby the T_{eff} has been successfully converged to a single value (± 250 K) in all passbands UBVIc simultaneously. For an adopted maximum $R_V (= A_V / E_B - V)$ of 6, the highest known value measured so far, an acceptable fit has been achieved only for $T_{\text{eff}} \geq 51$ kK, which hence should be our lower limit for this parameter. At higher T_{eff} a slightly lower R_V delivered better fits: e.g. at a T_{eff} of 56 kK an R_V of 5.7, and at 60 kK an R_V of 5.5. Secondary star's extreme T_{eff} together with its solar-like mass and radius (see here below) are indications of a hot subdwarf star of type sdO, i.e. a helium star containing a carbon/oxygen core and only a very thin hydrogen coating (for a review see Heber [4]).

The absolute dimensions of the shell star have been derived from the stellar models of Ekström et al. [5] for solar metallicity ($Z = 0.014$) and no rotation. Therefore, the relative parameters obtained from light curve modelling have been transformed into their corresponding values for a non-rotating star with help of equations and diagrams given in Ekström et al. [6]. Our radius / separation ratio R/a then fits to a single position in the middle of the main sequence band of their Hertzsprung-Russell diagram (HRD) for our T_{eff} (and calculated separation a from Kepler's third law). Thereby a mass of $6.87 \pm 0.52 M_{\odot}$ has been obtained for the shell star. The relatively large radius of the sdO of $1.20 (+0.21/-0.11) R_{\odot}$ has then been derived from the size of the primary star. The mass of $0.78 \pm 0.05 M_{\odot}$ for the sdO has been taken from evolutionary tracks for helium stars at Z_{solar} given in Fig. 3.4 of Heusgen [7]. Masses below $0.73 M_{\odot}$ have been excluded, since they never (or too late) achieve our radius of $1.20 R_{\odot}$. Masses above $0.83 M_{\odot}$ evolve to larger radii in less than 30 Myr, i.e. before the minimum age of our primary star. Moreover, for our mass and radius range, these evolutionary tracks limit T_{eff} of the sdO to about ≤ 61 kK.

In the most likely scenario our binary has been created by Roche-lobe overflow of the hydrogen-rich envelope of the former mass donor (loser) of an initial mass of (almost) 5 Mo to its mass accreting companion (gainer) of initially ≈ 3 Mo. From the stellar models of Ekström et al. [5] it can be derived, that thereafter it took ≈ 31 Myr plus a few more for our rapidly rotating shell star to reach its present post-Algol evolutionary stage. This fits quite well to our sdO-helium remnant of the donor star, which according to an empirical equation of Z. Han (cited by Eggleton [8]) has an expected lifetime of about 30 Myr in the helium main sequence. Subsequently, in the remaining timespan difference, our sdO has evolved to its present stage in the HRD. According to the HRD given in Fig. 3.4 of Heusgen [7] our hot subdwarf, after a previous expansion and cooling step, is now contracting at nearly constant top luminosity until a remarkable T_{eff} of ≥ 200000 K is reached. Finally, it will follow the white dwarf (WD) cooling track.

To date there have been discovered five similar binaries of the type Be + sdO by analysis of far-ultraviolet spectra from space-based observations (see e.g. table 3 in Schootemeijer et al. [9]). Wang et al. [10] have added recently twelve candidates for this type of binaries containing primary stars of spectral type B0 to B3. Although no emission lines have been reported yet, our B-shell + sdO binary should belong to this group, since a Be star seen equator-on is a shell star (see Rivinius et al. [11]). Moreover, the derived equatorial rotational velocity of ≈ 367 km/s is equivalent here to a fraction $W = 0.76$ of the critical value, and fitting well to a Be-type star (see Fig. 9 of Rivinius et al. [12]). HD 328058 is the first eclipsing binary of this type allowing detailed studies of the decretion disk, when the light of the sdO passes through. Our sdO's T_{eff} of about 56 kK is slightly above the known range of 42 to 53 kK for the sdO components in these binaries. After V658 Car (HD 92406), obviously in the earliest post-Algol evolutionary stage ever seen (see Hauck [13]), HD 328058 is a new clear finding of a shell star in an eclipsing binary. However, it does contain more massive components: the low-mass He-WD precursor of V658 Car here being replaced by a helium-burning C/O-WD precursor.

The B–V colour excess E_{B-V} of ≈ 0.50 for our binary indicates a significant reddening corresponding to an extinction A_V of ≈ 1.57 mag in our line of sight, which might be the effect of an interstellar dust cloud in front of HD 328058 and his stellar neighbour HD 328059 (in 1.5' angular distance, and showing an extinction A_V of 1.19 mag). A circumbinary disk being formed by mass loss of the system during former non-conservative mass transfer might be a further explanation. The calculated distance of about 1050 pc for HD 328058 is about 10% above the mean value of 951 pc of the second data release of the GAIA mission, which appears satisfactory for the time being, given their ranges of error found for hot and cool stars having similar parallaxes (see Fig. 1 of Stassun et al. [14]). The results are listed in tables 1 and 2. The error margins are based on 5% uncertainty in primary star's T_{eff} and on an adopted solar composition.

Further studies of HD 328058 appear interesting. This eclipsing binary system should allow double-lined spectroscopy for getting precise masses. The T_{eff} parameters could be determined with higher accuracy by modern spectroscopic means and stellar atmospheric models. The rapidly evolving primary star can be used as a scale for the

age determination of the sdO component. Hence existing stellar models can be tested here unusually well.

Table 1: Parameters of binary system HD 328058

Epoch [HJD]	2452494.305(3)	mid primary minimum
Period P [days]	62.469(2)	from ASAS + new data
Maximum light V/B [mag]	9.80 / 10.03	from ASAS-3 [15] / TYCHO
Minimum light in V [mag]	10.125 / 9.825	primary / secondary eclipse
Eclipse duration [hours]	81 / 17.1	disk / stellar eclipse
Orbital inclination i [deg]	88.33	(+0.02/-0.05)
Orbital radius a [R_{\odot}]	130.4 ± 2.9	for $R_{\odot} = 696342$ km; circular orbit
Distance [pc]	1050	(+150/-112); for $A_v = 1.57$ mag

Table 2: Parameters of components of HD 328058

Parameter	Primary star	Secondary star	Decretion disk
Spectral type	B3 shell	O adopted	
Temperature $T_{\text{eff mean}}$ [K]	17600 ± 900	56000 ± 5000	
Radius (R pole) [R_{\odot}]	4.34 ± 0.10		
Radius (R equator) [R_{\odot}]	5.58 ± 0.13		
Radius (R mean) [R_{\odot}]	5.17 ± 0.12	1.20 ± 0.16	21.1 ± 0.8
Luminosity (bol.) [$\log L_{\odot}$]	3.35 ± 0.11	4.10 ± 0.18	
Brightness (abs.) [VMag]	- 1.50 dimmed	- 0.55	
V-light fraction at Max.	0.706 dimmed	0.294	0 adopted
Mass [M_{\odot}]	6.87 ± 0.52	0.78 ± 0.05	

References:

- [1] V.V. Nesterov et al., 1995, A&AS, 110, 367
- [2] W.P. Bidelman et al., 1973, AJ, 78, 678
- [3] J.A. Cardelli et al., 1989, ApJ, 345, 245
- [4] U. Heber, 2016, PASP, 128, 082001; arXiv:1604.07749
- [5] S. Ekström et al., 2012, A&A, 537, 146
- [6] S. Ekström et al., 2008, A&A, 478, 467
- [7] F.A. Heusgen, Evolution of low-mass helium stars, University of Bonn, (2016); <https://astro.uni-bonn.de/~nlanger/thesis/HeusgenBachelor.pdf>
- [8] P. Eggleton, Evolutionary processes in binary and multiple stars, Cambridge University Press, (2006)
- [9] A. Schootemeijer et al., 2018, A&A, 615, 30; arXiv:1803.02379
- [10] L. Wang et al., 2018, ApJ, 853,160; arXiv:1801.01066
- [11] T. Rivinius et al., 2006, A&A, 459, 137
- [12] T. Rivinius et al., 2013, A&A Review, 21, 69
- [13] N. Hauck, 2018, BAV Rundbrief, 67, no. 2, 41; arXiv:1805.04318
- [14] K.G. Stassun et al., 2018, ApJ, 862, 61; arXiv:1805.03526
- [15] G. Pojmanski, 2002, Acta Astron., 52, 397

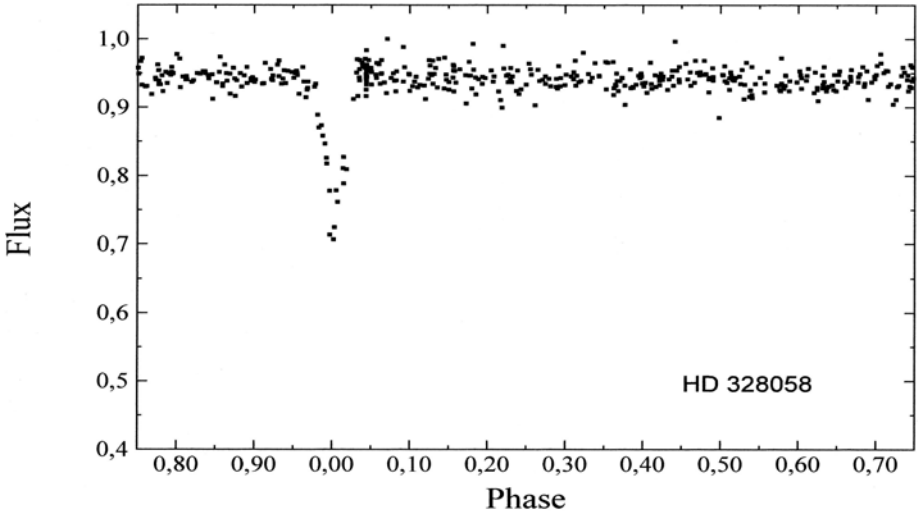


Fig. 1: Phase – VFlux plot with primary minimum for $P=62.469$ days from ASAS-3 data

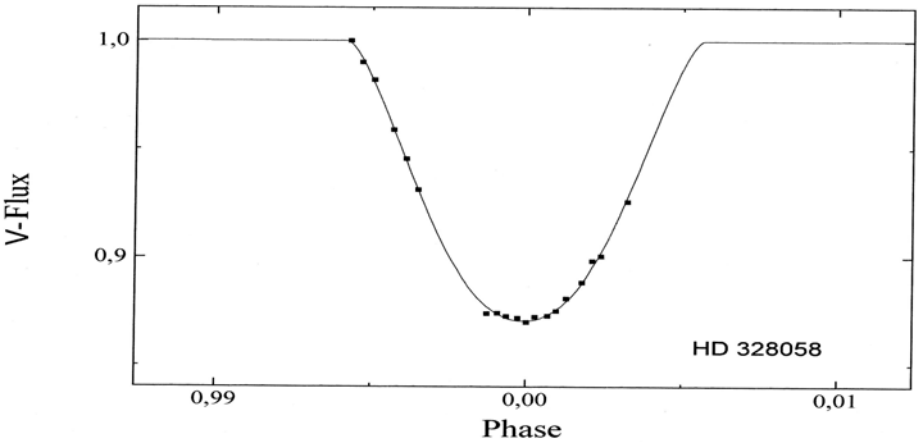


Fig. 2: Computed light curve of the central stellar eclipse for our new, binned V-data from JD 2458241 to 2458304

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 All Sky Automated Survey ASAS database, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>

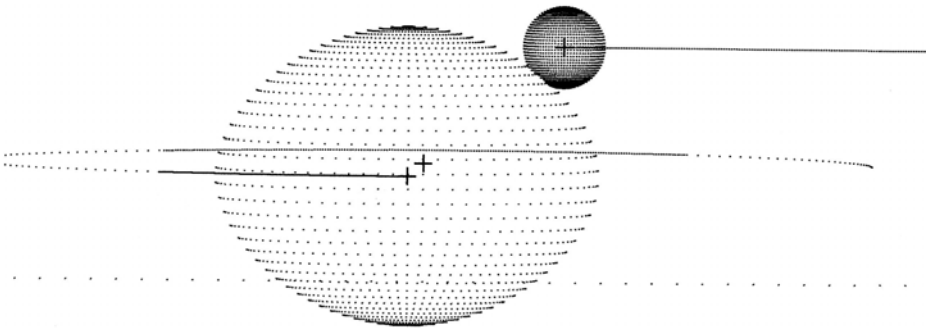


Fig. 3.1: HD 328058 shortly after first contact of stellar primary eclipse (phase 0.9943).

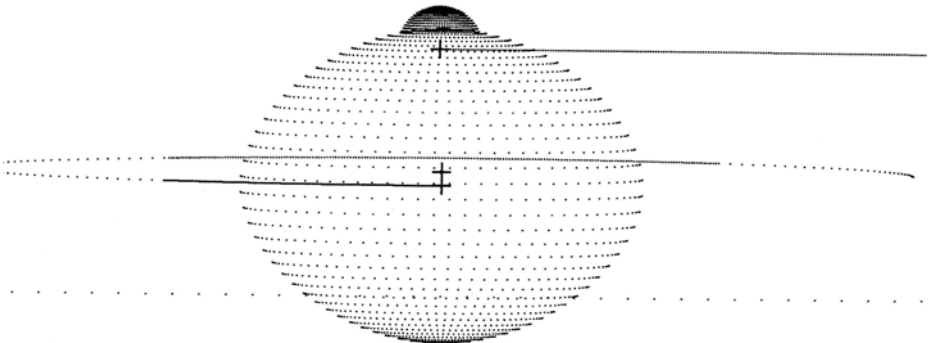


Fig. 3.2: HD 328058 at mid stellar primary minimum (phase 0). To-scale figures of the rapidly rotating B-shell star and its sdO companion in our equatorial view. Gravity centres (+) and their orbital movements are also indicated.

Das erste Bedeckungssystem aus einem B-Hüllenstern + sdO entdeckt in HD 328058

The first eclipsing B-shell + sdO binary discovered in HD 328058

Norbert Hauck

Abstract: *An eclipsing binary with an orbital period of 62 days has been discovered in HD 328058 and studied by UBVlcHa photometry. Combining the results of light curve modelling with existing stellar models and known B3-shell spectral type of the primary star then allowed a reliable estimation of the mass, radius and effective temperature of both components: about 6.9 Msun, 5.2 R_{sun} and 17600 K for the primary star, and about 0.78 Msun, 1.20 R_{sun} and 56000 K for the hot subdwarf companion of type sdO. Obviously, this binary has been created by mass transfer of the envelope of the sdO progenitor to our primary star, now being a rapidly rotating shell star. Its spheroidal distortion and its decretion disk can be studied here unusually well. [German + English version of this paper: www.bav-astro.eu/rb/rb2019-3/109.html (or pdf)].*

HD 328058 befindet sich im Sternbild Norma und wird in der SIMBAD-Datenbank als Einzelstern beschrieben. Das einzige Literaturzitat darin (Nesterov et al. [1]) gibt Spektraltyp B3 an. Bidelman et al. [2] nennen Spektraltyp B-shell und erwähnen spektrale Variabilität. Von GAIA-DR2 haben wir eine vorläufige Entfernung von 951 (908 - 999) pc. Durch Bearbeitung alter photometrischer Daten von ASAS-3 wurde nun ein Bedeckungssystem mit einer Bahnperiode von 62 Tagen entdeckt (s. Abb. 1).

Mit einem ferngesteuerten 0.5m-Spiegelteleskop in Siding Spring, Australien, wurden weitere, präzisere photometrische Daten in den Bändern UBVlcHa erhalten. Hauptvergleichssterne war HD 328064. Das Hauptminimum der Lichtkurve (Phase ≈ 0.973 bis 0.027) erklärt sich im äußeren Teil durch Absorption des Lichtes der kleineren Sekundärkomponente durch die unseren Primärstern vom Typ B umgebende, äquatoriale Dekretionscheibe (bzw. „Hülle“). Der innere, zentrale Teil des Minimums (Phase $0.9943 - 0.0057$) entsteht durch die Bedeckung des Begleitsterns durch den Primärstern (s. Abb. 1). Das flache Nebenminimum wurde nicht in ASAS-3 oder ASAS-SN, sondern erst in unseren neuen Daten bei Phase 0.50 gefunden. Im mit der *Binary Maker 3* (BM 3)-Software (Bradstreet & Steelman, 2004) erzeugten Modell hat es im UBVlc Tiefen von 16, 21, 27 and 30 mmag, wobei letztere im lc bestätigt wurde. Die bei den kürzeren Wellenlängen λ etwas kleiner als erwartet gemessenen Tiefen könnten auf einem im Vergleich zum BM3-Modell erhöhten Randverdunkelungseffekt des verformten Hüllensterns beruhen.

Aus unseren neuen photometrischen Daten wurde mit Hilfe der BM3-Software die Lichtkurve der zentralen Sternbedeckungen modelliert. Der beste Fit des Hauptminimums erzielte ein σ -Fit von 1.5 mmag für eine Kreisbahn (s. Abb. 2). Die partielle Bedeckung ist tief ($\approx 76\%$ der Totalität) und erlaubt eine detaillierte Studie der Verformung des Primärsterns zu einem abgeplatteten Rotationsellipsoid (siehe massstäbliche Abb. 3.1, 3.2). Bei einem gefitteten übersynchronen Rotationsfaktor von 81.1 ergibt sich ein Verhältnis des Äquator- / Polradius von $5.58 R_o / 4.34 R_o$, d.h. ≈ 1.29 .

Die permanente Absorption des Primärsternlichts durch seine halbe Dekretions-scheibe, und die nur temporäre Absorption des Sekundärsternlichts im Hauptminimum durch den gesamten Scheibendurchmesser erfordern eine separate Modellierung beider Minima. Die gesamte Scheibe verursacht einen signifikanten Lichtverlust des Sekundärsterns von etwa 59% im U-Band, 53% im B, 51% im V, 58% im Ic, und 72% im H α , was als Indiz für eine aus relativ dichtem Gas bestehende Dekretionsscheibe angesehen wird. Unsere Bedeckungsgeometrie erfordert eine Scheibe mit einer Felgenbreite von mindestens dem Primärsternpoldurchmesser, und daher mit einem bemerkenswert grossem Öffnungswinkel (am Äquator beginnend) im Querschnitt.

Spektraltyp B3 (von [1]) entspricht einer T_{eff} von ≈ 17000 K in unserer Äquatoransicht. Vergleichende Modellierung mit dem BM3 ergibt eine mittlere T_{eff} von 17600 K über die gesamte Oberfläche, d.h. inklusive der heißeren Pole des schnell rotierenden Sterns. Im Sternmodell ohne Rotation steigt die theoretische T_{eff} auf ≈ 19200 K.

Die T_{eff} des Sekundärsterns wurde durch Modellierung der Lichtkurven des zentralen Hauptminimums ermittelt. Die ersten Resultate zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der Wellenlänge λ , d.h. eine T_{eff} von 33, 37, 42 und 45 kK im UVVic. Dieser Effekt wurde als Rötung des Sekundärsterns durch eine dicke, staubige Akkretionsscheibe (eventuell aufgebläht vom Druck der intensiven Strahlung) angesehen und modelliert. Hierzu wurde die Extinktion $A(\lambda)$ durch Verkleinerung dieses Sterns (in künstlicher totaler Bedeckung) kompensiert, und zwar exakt gemäß Extinktionsgesetz und den Koeffizienten von Cardelli et al. [3]. Dadurch konnte die T_{eff} simultan im UVVic zu einem Einzelwert (± 250 K) konvergiert werden. Für einen angenommenen maximalen $R_V (= A_V / E_B - V)$ von 6, dem höchsten bekannten Messwert, wurde nur bei $T_{\text{eff}} \geq 51$ kK ein akzeptabler Fit erzielt, und die somit unsere Untergrenze für T_{eff} sein sollte. Bei höheren T_{eff} ergaben etwas kleinere R_V bessere Fits: z.B. ein R_V von 5.7 bei 56 kK, und ein R_V von 5.5 bei 60 kK. Die extreme T_{eff} des Sekundärsterns und seine sonnenähnliche Masse und Radius (s. u.) sind Indizien für einen heißen Unterzweig des Typs sdO, d.h. einen Heliumstern mit einem Kern aus Kohlenstoff / Sauerstoff und einer nur sehr dünnen Wasserstoffhülle (s. Review in Heber [4]).

Die absoluten Dimensionen des Hüllensterns wurden aus den Sternmodellen von Ekström et al. [5] für solare Metallizität ($Z = 0.014$) ohne Rotation abgeleitet. Hierfür wurden die von der Lichtkurvenmodellierung erhaltenen relativen Parameter mit Hilfe der in Ekström et al. [6] angegebenen Gleichungen und Diagramme in ihre für einen nicht rotierenden Stern korrespondierenden Werte umgewandelt. Unser Radius/Bahnradius - Verhältnis R/a passt dann zu einer einzigen Position in der Mitte des Haupttreihenbandes ihres Hertzsprung-Russell-Diagramms (HRD) bei unserer T_{eff} (und nach Kepler's drittem Gesetz berechnetem a). Für den Hüllenstern wurde so eine Masse von $6.87 \pm 0.52 M_{\odot}$ ermittelt. Davon abgeleitet wurde der relativ grosse Radius des sdO von $1.20 (+0.21/-0.11) R_{\odot}$. Die Masse des sdO von $0.78 \pm 0.05 M_{\odot}$ wurde den Entwicklungswegen für Heliumsterne bei Z_{solar} entnommen (s. Abb. 3.4 von Heusgen [7]). Massen unter $0.73 M_{\odot}$ wurden ausgeschlossen, da diese unseren Radius von $1.20 R_{\odot}$ nie oder zu spät erreichen. Massen $> 0.83 M_{\odot}$ entwickeln sich zu größeren Radien in < 30 Myr (30×10^6 Jahren), d.h. vor dem Mindestalter unseres Primärsterns. Diese Entwicklungswege limitieren zudem, für unsere Masse und Radius, die T_{eff} des sdO auf etwa ≤ 61 kK.

Im naheliegendsten Szenario wurde unser Doppelstern durch Rochelobetransfer der wasserstoffreichen Hülle des früheren Massespenders (Verlierers) mit einer Anfangsmasse von (fast) 5 Mo zu seiner Masse aufnehmenden Begleiter (Gewinner) von anfänglich ≈ 3 Mo gebildet. Aus dem Sternmodell von Ekström et al. [5] kann abgeleitet werden, dass es danach für unseren schnell rotierenden Hüllenster bis zum Erreichen seines heutigen Postalgolstadiums etwas länger als ≈ 31 Myr gedauert hat. Dies passt recht gut zu unserem sdO-Heliumsternrest des Massespenders, der nach einer empirischen Gleichung von Z. Han (s. Eggleton [8]) etwa 30 Myr in der Helium-Hauptreihe verbleibt. Anschließend hat sich unser sdO in der verbleibenden Zeitspannendifferenz zu seinem heutigen Stadium im HRD entwickelt. Gemäß Abb. 3.4 von Heusgen [7] kontrahiert unser heißer Unterzwerg nun, nach einer vorherigen Expansions- und Abkühlungsphase, bei nahezu konstanter und maximaler Leuchtkraft bis zum Erreichen einer bemerkenswerten T_{eff} von ≥ 200000 K. Abschließend wird er dem Abkühlungsweg Weißer Zwerge (WD) folgen.

Bis heute wurden durch Analyse von im Weltraum gewonnenen Spektren im fernen UV fünf ähnliche Doppelsterne des Typs Be + sdO entdeckt (s. z.B. Tab. 3 in Schootemeijer et al. [9]). Wang et al. [10] haben neulich 12 Kandidaten dieses Doppelsternstyps (mit Primärsternen des Spektraltyps B0 bis B3) hinzugefügt. Obwohl bisher noch keine Emissionslinien beobachtet wurden, sollte unser B-Hüllenster + sdO – System auch zu dieser Gruppe gehören, da ein von der Kante her gesehener Be-Stern ein Hüllenster ist (s. Rivinius et al. [11]). Zudem entspricht die abgeleitete äquatoriale Rotationsgeschwindigkeit von ≈ 367 km/s einem Anteil $W = 0.76$ des kritischen Wertes, was gut zu einem Be-Stern passt (s. Abb. 9 von Rivinius et al. [12]). HD 328058 ist das erste Bedeckungssystem dieses Typs und gestattet detaillierte Studien der Dekretionsscheibe, wenn das Licht des sdO hindurch strahlt. Die T_{eff} unseres sdO liegt mit ≈ 56 kK etwas oberhalb des bekannten Bereichs von 42 – 53 kK für die sdO-Komponenten dieser Doppelsterne. Nach V658 Car (HD 92406), offensichtlich im frühesten je gesichteten Postalgolstadium (s. Hauck [13]), ist HD 328058 ein neuer eindeutiger Fund eines Hüllensterns in einem Bedeckungssystem. Es enthält jedoch massereichere Komponenten: der massearme He-WD – Vorläufer des V658 Car ist hier ersetzt durch einen Heliumbrennenden C/O-WD – Vorläufer.

Der B–V Farbexzess $E_{B - V}$ von ≈ 0.50 bei unserem Doppelstern zeigt eine deutliche Rötung an, die einer Extinktion A_V von ≈ 1.57 mag in unserer Sichtlinie entspricht. Dies könnte der Effekt einer interstellaren Staubwolke vor HD 328058 und seinem Nachbarn HD 328059 (in 1.5' Winkeldistanz; Extinktion A_V 1.19 mag) sein. Eine durch Masseverlust des Systems bei nicht-konservativem Massetransfer entstandene Staubscheibe ausserhalb des Systems wäre eine weitere Erklärung. Die für HD 328058 berechnete Entfernung von etwa 1050 pc liegt ≈ 10 % über dem Mittelwert von 951 pc der zweiten Datenfreigabe der GAIA-Mission, was angesichts der gefundenen Fehlerbereiche für heiße und kühle Sterne als derzeit zufriedenstellend erscheint (s. Abb. 1 von Stassun et al. [14]). Die Resultate sind in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt. Die Fehlerbreiten basieren auf 5% Unsicherheit in der T_{eff} des Primärsterns und auf solarer Metallizität.

Weitere Studien von HD 328058 erscheinen interessant. Dieses Bedeckungssystem sollte Doppellinienspektroskopie zur Bestimmung präziser Massen erlauben. Die T_{eff} -

Parameter könnten mit moderner Spektroskopie und Sternatmosphärenmodellen mit höherer Genauigkeit ermittelt werden. Der sich schnell entwickelnde Primärstern kann als Maßstab für die Altersbestimmung der sdO-Komponente verwendet werden. Existierende Sternmodelle sind hier somit ungewöhnlich gut überprüfbar.

Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems HD 328058

Epoche [HJD]	2452494.305(3)	Mitte Hauptminimum
Periode P [Tage]	62.469(2)	von ASAS + neue Daten
Maximumslicht V/B [mag]	9.80 / 10.03	von ASAS-3 [15] / TYCHO
Minimumslicht in V [mag]	10.125 / 9.825	Haupt- / Nebenminimum
Minimumsdauer[Stunden]	81 / 17.1	Scheiben- / Sternbedeckung
Bahnneigung i [deg]	88.33	(+0.02/-0.05)
Bahnradius a [Ro]	130.4 ± 2.9	für Ro = 696342 km; Kreisbahn
Entfernung [pc]	1050	(+150/-112); für Av = 1.57 mag

Tabelle 2: Parameter der Komponenten von HD 328058

Parameter	Primärstern	Sekundärstern	Dekretionsscheibe
Spektraltyp	B3 shell	O angenommen	
Temperatur mittlere T _{eff} [K]	17600 ± 900	56000 ± 5000	
Radius (R pol) [Ro]	4.34 ± 0.10		
Radius (R äquator) [Ro]	5.58 ± 0.13		
Radius (mittlerer R) [Ro]	5.17 ± 0.12	1.20 ± 0.16	21.1 ± 0.8
Leuchtkraft (bol.) [log L _o]	3.35 ± 0.11	4.10 ± 0.18	
Helligkeit (abs.) [VMag]	- 1.50 gedimmt	- 0.55	
V-Lichtanteil im Max.	0.706 gedimmt	0.294	0 angenommen
Masse [Mo]	6.87 ± 0.52	0.78 ± 0.05	

Literaturquellen:

- [1] V.V. Nesterov et al., 1995, A&AS, 110, 367
- [2] W.P. Bidelman et al., 1973, AJ, 78, 678
- [3] J.A. Cardelli et al., 1989, ApJ, 345, 245
- [4] U. Heber, 2016, PASP, 128, 082001; arXiv:1604.07749
- [5] S. Ekström et al., 2012, A&A, 537, 146
- [6] S. Ekström et al., 2008, A&A, 478, 467
- [7] F.A. Heusgen, Evolution of low-mass helium stars, University of Bonn, (2016); <https://astro.uni-bonn.de/~nlanger/thesis/HeusgenBachelor.pdf>
- [8] P. Eggleton, Evolutionary processes in binary and multiple stars, Cambridge University Press, (2006)
- [9] A. Schootemeijer et al., 2018, A&A, 615, 30; arXiv:1803.02379
- [10] L. Wang et al., 2018, ApJ, 853,160; arXiv:1801.01066
- [11] T. Rivinius et al., 2006, A&A, 459, 137
- [12] T. Rivinius et al., 2013, A&A Review, 21, 69
- [13] N. Hauck, 2018, BAV Rundbrief, 67, no. 2, 41; arXiv:1805.04318
- [14] K.G. Stassun et al., 2018, ApJ, 862, 61; arXiv:1805.03526
- [15] G. Pojmanski, 2002, Acta Astron., 52, 397

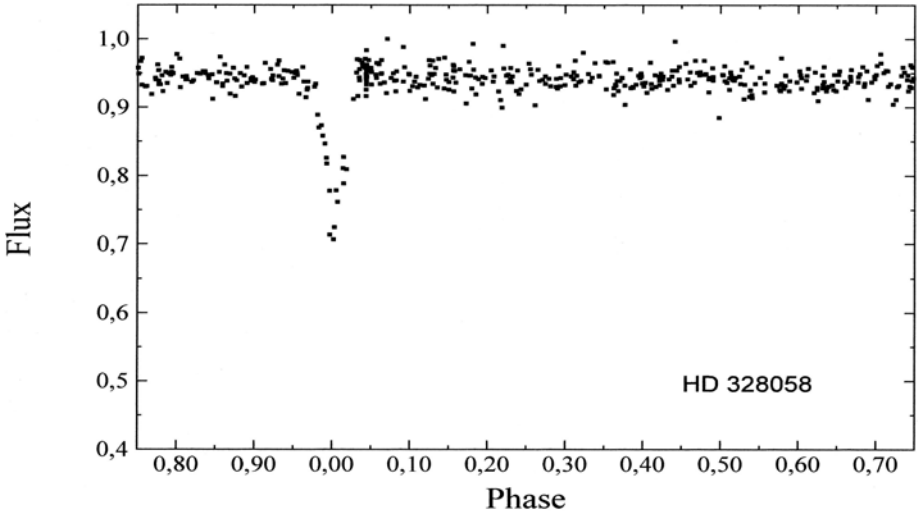


Abb. 1: Phase-Vflux-Plot mit Hauptminimum für $P = 62.469$ Tage von ASAS-3-Daten

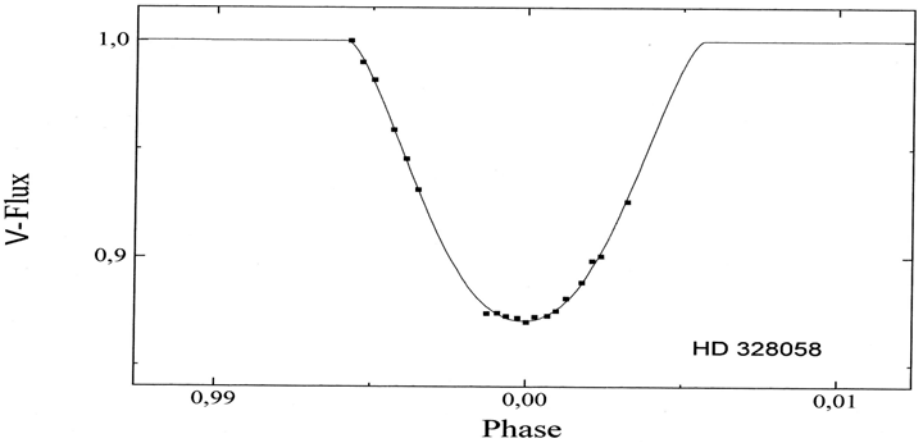


Abb. 2: Berechnete Lichtkurve der zentralen Sternbedeckung für unsere neuen, gebintten V-Daten von JD 2458241 bis 2458304

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 All Sky Automated Survey ASAS database, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>

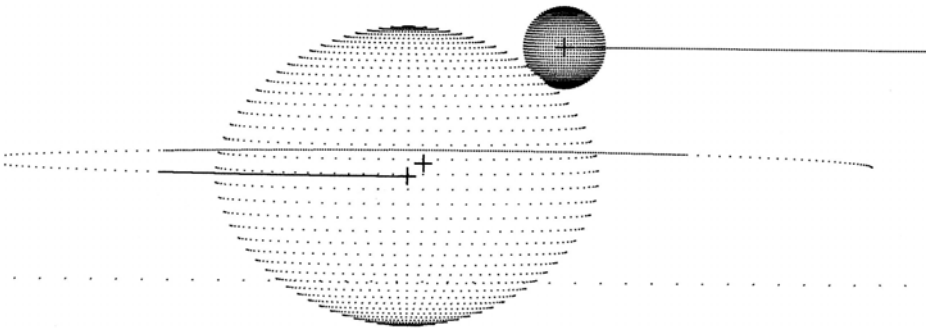


Abb. 3.1: HD 328058 kurz nach dem erstem Kontakt des stellaren Hauptminimums (Phase 0.9943).

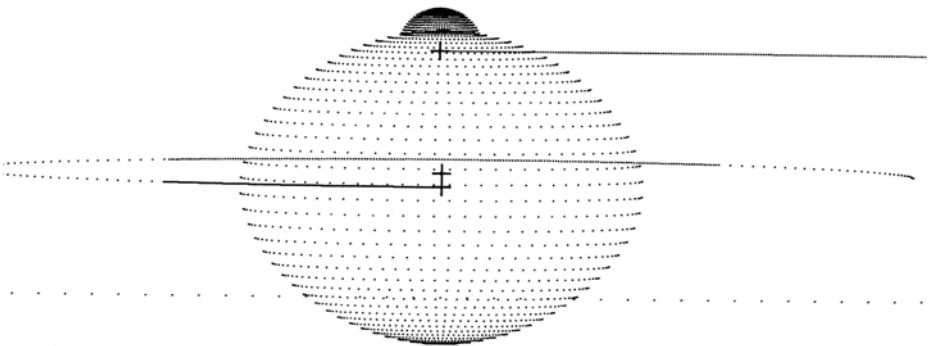


Abb. 3.2: HD 328058 in der Mitte des stellaren Hauptminimums (Phase 0). Massstabsgetreue Abbildungen des schnell rotierenden B-Hüllensterns und seines sdO-Begleiters in unserer äquatorialen Ansicht. Die Gravitationszentren (+) und ihre Bahnbewegungen sind ebenfalls dargestellt.