

Eclipses of an oversized pre-He white dwarf by a large accretion disk discovered in the post-mass-transfer binary 2MASS J02425562+6133133

Norbert Hauck

Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (BAV),
Munsterdamm 90, 12169 Berlin, Germany ; hnhauck@yahoo.com

Abstract: *An eclipsing binary showing total eclipses lasting for 12 days within an orbital period of 67 days has been discovered in the Zwicky Transient Facility (ZTF) database. Further photometric data have been obtained from TESS data and own observations in the passbands B, V and Ic. Combining these results with the known distance of the object and stellar models then allowed to establish a first model of this detached binary system and to give a reliable estimation of its parameters. For the masses, radii and effective temperatures of its components we get about 3.58 Msun, 5.45 Rsun and 10320 K for the primary star, and about 0.23 Msun, 1.63 Rsun and 8000 K for the helium white dwarf precursor, which appears to be the largest one found so far. Both stars do not eclipse each other. The primary star is surrounded by a tilted accretion disk having a mean radius of about 69 Rsun and a semi-thickness of about 28 Rsun. The presence of such a large, geometrically and optically thick accretion disk in a post-mass-transfer binary is surprising, and has obviously never been seen before. It can be explained by an accretor, which maintained a near-critical rotation rate from before the end of mass transfer to date.*

2MASS J02425562+6133133 (GSC 04047-00113; UCAC4 758-022873; Tess Input Catalog TIC 50517739), hereafter **GSC 4047-113**, is a stellar object of 12.8 Vmag and located behind the open cluster NGC 1027 in the Cassiopeia constellation. It has now been discovered as an eclipsing binary with an orbital period of 67 days (see Fig. 1) by a search in the Zwicky Transient Facility (ZTF) catalog of suspected variable stars of Chen et al. [1]. From the GAIA mission (DR3) we know its distance of 2892 ± 114 pc. No spectral class for this object has been found in the literature. However, it has been classified as an emission-line star in the catalog of Skiff [2].

A remotely controlled 17-inch CDK telescope in Utah, USA, has been used for obtaining additional photometric data in the B, V and Ic bands. The results for the depth and duration of the minima are included in Table 1, and have been used for the modeling with the *Binary maker 3* (BM 3). The brightness of the system has been taken from APASS (DR6) for the B and V band, and from 2MASS for the K (K_s) band.

Calculating the effective surface temperature T_{eff} of the **primary star** has been based on the relation $E_{V-K} / E_{B-V} = (A_V - A_K) / (A_B - A_V)$ between the color excesses E_λ and the extinctions A_λ . From table 3 of Wang & Chen [3] we get $A_K \approx 0.078 A_V$, from Cardelli et al. [4] we get $A_B = (0.9982 + 1.0495/R_V)A_V$ and from Fitzpatrick & Massa [5] the total to selective extinction ratio $R_V \approx -1.36 (E_{K-V}/E_{B-V}) - 0.79$. According to table 5 of Pecaut & Mamajek [6] for dwarfs of solar composition our color excess ratio then finally fits to a primary star's T_{eff} of 10320 ± 300 K. Moreover, we obtain an A_V of 1.68 ± 0.05 mag and an elevated $R_V (= A_V/E_{B-V})$ of 3.89. At the known distance of our binary this gives a primary star's mean radius of $5.45 \pm 0.33 R_\odot$ in our perspective view (see Table 2).

The parameters of the **secondary star**, i.e. a T_{eff} of 8000 ± 250 K and a mean radius of $1.63 \pm 0.10 R_{\odot}$ have then been obtained by comparative modeling with this primary star (including fast rotation) in the BM3 in the B, V and Ic bands. This secondary star fits, according e.g. Fig. C.2 of Istrate et al. [7], to a helium white dwarf precursor of 0.23 solar masses. Of course, a normal dwarf of $1.7 M_{\odot}$ would also fit to this T_{eff} and radius, but that can be excluded here because of the overall structure of this binary and its evolutionary history (see below). Our pre-He white dwarf appears to be the largest one of a few dozens found so far (see e.g. the literature introduction in Wang et al. [8] giving a known size range of 0.03 to $1.3 R_{\odot}$).

The **primary minimum** lasting for 12 days including a total eclipse of 11 days (Fig. 1) indicates the presence of a large and opaque **accretion disk** surrounding the primary star. The radius of the disk amounts to $67 R_{\odot}$, and up to $73 R_{\odot}$ towards the secondary star by tidal stretching, and fills out $\approx 98\%$ of the Roche-lobe radius of the primary star (see Fig. 2). In order to generate the observed eclipse duration the disk is expected to be tilted towards us out of the orbital plane. Moreover, the disk seems to be tilted against the orbital plane in the lateral direction as well, away from the approaching companion star (in our viewing perspective), and thereby explaining the shorter ingress into the steeper outer edge as well as the longer egress from the flatter upper rim of the disk (see Fig. 3). The disk geometry modeling including tilted options did not deliver any acceptable solutions for thinner disks. However, a precisely fitting model has been found for a tilted disk of a total thickness of about $55.6 R_{\odot}$ (Fig. 3).

The depth of the total eclipse has been measured shortly after the second contact, where the minimum might be slightly deeper than at the later phases of the eclipse. The duration of the ingress and egress given in table 1 has been derived from own photometry as well as from TESS data by the Quick Look Pipeline of Huang et al. [9]. For an equipotential convex shape of the disk's outer edge we get an orbital inclination of about 70° from the ingress modeling. As usual, both disk planes should be concavely shaped.

The light curves (Fig. 1) additionally also show towards phase 0.5, i.e. between the phases of about 0.37 and 0.61, a shallow **secondary minimum**, which is interpreted here as a tidal bending effect, in combination with the known tidal stretching effect. By lifting the dark front edge of the tilted disk the gravitational forces of the secondary star might produce an obscuration of a luminous part of the inner disk region (see Fig. 3). Anyway, likely for the first time, this effect can be studied here without interfering ellipsoidal brightness variations of the donor star and mass transfer activities. According to our color photometry this luminous inner disk area has a mean T_{eff} of about 5200 K. Its minor flux fraction, estimated at twice the depth of the secondary minimum, has been added as third light to our model.

In the light of the specified components GSC 4047-113 is a **post-mass-transfer binary** system consisting of a contracting pre-He white dwarf (the former donor star remnant) and a primary star with, surprisingly, an *accretion disk* (Fig. 2). To date, as far as known to the author, only the opposite thereof, i.e. *decretion disks* have been found in post-mass-transfer binaries.

For a clarification thereof, the primary minima of the light curves of the first eclipsing shell star binaries HD 92406 (V658 Car) and HD 328058, recently obtained from the TESS mission by the Quick Look Pipeline from Huang et al. [9], are shown in Fig. 4. Like GSC 4047-113, both are long-period post-mass-transfer systems: HD 92406 = A0pe shell + pre-He white dwarf, and HD 328058 = B3 shell + sdO (see Hauck [10], [11]). Their primary minima display a funnel-shaped outer part created by the semi-transparent decretion disks dimming the light of the helium companion stars. Towards the stellar eclipses in the central part of the minima the concave disks seen edge-on become thinner, and thereby generate a visible brightening effect on the ingress and/or egress side. *Decretion disks* can be generally described as gaseous and geometrically thin disks, according to e.g. chapter 8 of Rivinius et al. [12]. Hence they are clearly distinguishable from our dusty, optically and geometrically thick *accretion disk* in GSC 4047-113.

The only plausible explanation for the presence of such an impressive accretion disk in a post-mass-transfer binary seems to be a near-critical rotation rate of the accretor from before the end of Roche-lobe overflow (RLOF) to date. According to Fig. 3, A.1 and Table C.1 of Istrate et al. [7] our helium white dwarf precursor has an estimated age of about 20 Myr from the end of RLOF. An appropriate stellar model for stars of solar metallicity and an initial ratio of angular velocities $\Omega/\Omega_{\text{critical}}$ of 0.90 has been computed by Georgy et al. [13]. At a mass of $3.58 M_{\odot}$ our primary star fits into their evolutionary track, i.e. under the assumption that it has reached its main sequence track (point no. 68) at the end of mass transfer, it has now, about 20 Myr later, arrived at nearly its lowest T_{eff} in the main sequence (point no. 81). Simultaneously, its equatorial to orbital rotational velocity ratio W should have risen from 0.74 to 0.82. It follows from this stellar model and e.g. Fig. 9 of Rivinius et al. [12], that in about 10 Myr the accretor will have reduced its rotation rate to a level of $W \approx 0.70$, where accretion can no longer be stopped (by decretion), and our unique accretion disk will disappear for ever.

The **evolutionary history** of our extraordinary binary can be recalculated by equations given in chapter 3.1 of Eggleton [14]. For an adopted conservative mass transfer and an initial donor star mass of e.g. $2.0 M_{\odot}$ we get an initial orbital period of just 0.79 days at an orbital radius of $5.6 R_{\odot}$. The small Roche-lobe mean radius of $2.17 R_{\odot}$ allows an unusually early beginning of mass transfer ('case AB') in the main sequence band, which finally ends on the red giant branch at the present Roche-lobe mean radius of $19.7 R_{\odot}$ in a circular orbit. According to said equations the extreme final mass ratio correlates with the enormous increase of orbital size and period of this binary during its stellar evolution.

Acknowledgements :

This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomique, Strasbourg, France. This paper also includes data collected with the TESS mission, obtained from the MAST data archive at the Space Telescope Science Institute (STScI).

Table 1 : Parameters of the binary system GSC 4047-113

Epoch [HJD]	2459928.83(7)	mid primary minimum
Period [days]	67.42(1)	() = errors in last decimals
Maximum light in B [mag]	13.213(10)	from APASS DR6
Maximum light in V [mag]	12.809(20)	from APASS DR6
Maximum light in K _s [mag]	11.315(18)	from 2MASS
Minimum depth in B [mag]	0.050(4)	total eclipse (phase 0.9264)
Minimum depth in V [mag]	0.054(6)	total eclipse (phase 0.9265)
Minimum depth in I _c [mag]	0.063(2)	total eclipse (phase 0.9266)
Minimum depth in B [mag]	0.005(4)	secondary minimum
Minimum depth in V [mag]	0.012(1)	secondary minimum
Minimum depth in I _c [mag]	0.019(5)	secondary minimum
Eclipse duration [days]	12.36	totality duration = 11.02 days
Ingress duration [days]	0.55	phase 0.9083(7) to 0.9165(7)
Egress duration [days]	0.79	phase 0.0799(18) to 0.0917(7)
Orbital inclination i [deg]	70 (± 2)	from disk ingress modeling
Orbital radius a [R _⊙]	108.78 ± 0.57	for R _⊙ = 696342 km
Distance [pc]	2892 ± 114	from GAIA DR3
Extinction A _V [mag]	1.68 ± 0.05	for excess E _{B-V} = 0.43
Total/selective extinction R _V	3.89	

Table 2 : Parameters of the components of GSC 4047-113

Parameter	primary star	secondary star	disk
Radius (mean) [R _⊙]	5.45 ± 0.33	1.63 ± 0.10	68.8 ± 4.1
Radius (pole/equator) [R _⊙]	4.71 / 6.30		
Temperature mean T _{eff} [K]	10320 ± 300	8000 ± 250	
B-flux fraction at max. light	0.945	0.045	0.010
V-flux fraction at max. light	0.930	0.049	0.021
I _c -flux fraction at max. light	0.908	0.056	0.036
Mass [M _⊙]	3.58 ± 0.06	0.23 ± 0.01	

References :

- [1] Chen, X., et al. 2020, ApJS, 249, 18
- [2] Skiff, B.A. 2022, Catalogue of Stellar Spectral Classifications, VizieR Online Data Catalog B/mk, 2014yCat....1.2023S
- [3] Wang, S. & Chen, X. 2019, ApJ, 877, 116
- [4] Cardelli, J.A., et al., 1989, ApJ, 345, 245
- [5] Fitzpatrick, E.L. & Massa, D. 2009, ApJ, 699, 1209
- [6] Pecaute, M.J. & Mamajek, E. 2013, ApJ, 208, 9
- [7] Istrate, A.G., et al. 2014, A&A, 571, L3
- [8] Wang, L., et al. 2020, AJ, 159, 4
- [9] Huang, C.X., et al. 2020, Res. Notes AAS, 4, 204
- [10] Hauck, N. 2018, BAV Rundbrief, 67, no. 2, 41; arXiv:1805.04318
- [11] Hauck, N. 2019, BAV Rundbrief, 68, no. 3, 109; arXiv:1907.08800
- [12] Rivinius, T., et al. 2013, A&A Review, 21, 69; arXiv:1310.3962
- [13] Georgy, C., et al. 2013, A&A, 553, A24
- [14] Eggleton, P. 2006, Evolutionary processes in binary and multiple stars, Cambridge University Press

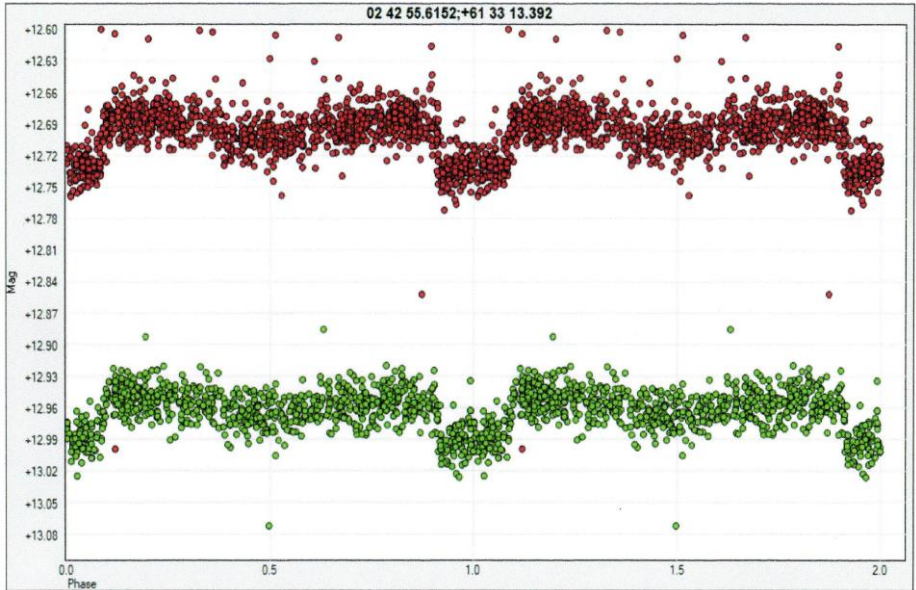


Fig. 1: The discovery light curves of GSC 4047-113 from 2115 orbital-period folded data points of the ZTF database: below in the g- (λ_{eff} 496 nm) and above in the r-band (λ_{eff} 621 nm). Besides the total eclipse of the pre-He white dwarf by the *accretion disk* at phase 0 there is also a strange, shallow secondary minimum towards phase 0.5.

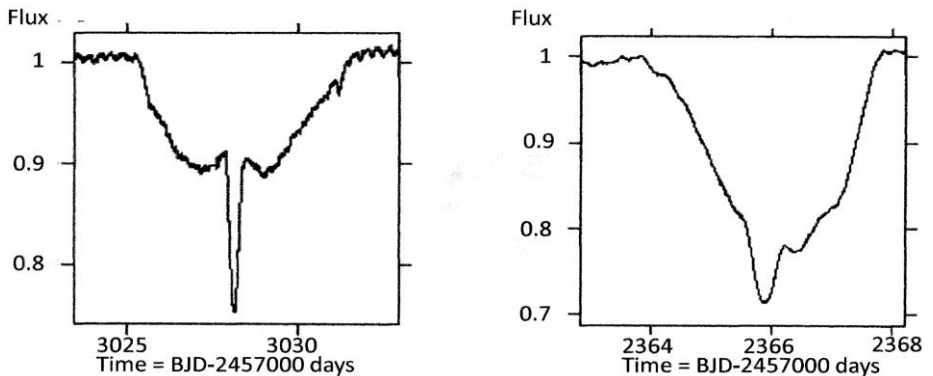


Fig. 4 : TESS light curves (SAP Flux from QLP) for the primary minima of HD 92406 (V658 Car) (left) and HD 328058 (right), both showing the dimming of their helium companion stars by the large *decretion disks* of their primary shell stars in our edge-on view. On one or both sides of the central stellar eclipses there is also a visible brightening. Both features are lacking in the light curves of GSC 4047-113 (Fig. 1).

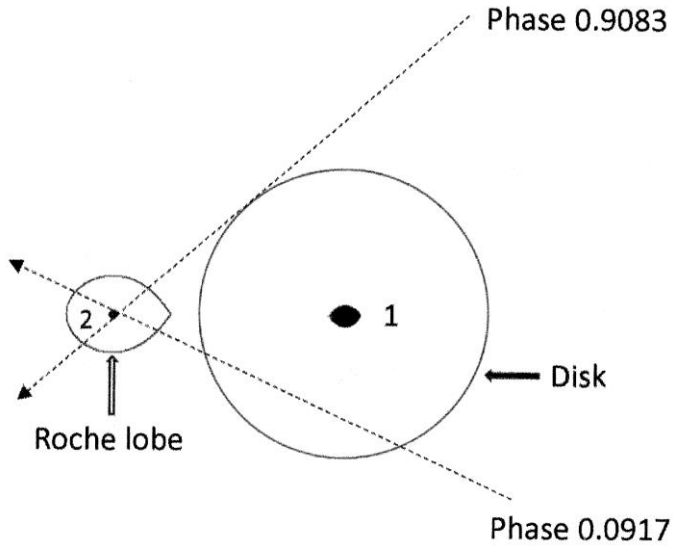


Fig. 2 : To-scale sketch of the binary GSC 407-113 containing a face-on view of the accretion disk, and a cross-sectional view of secondary star 2 and the fast rotating primary star 1. Our lines of sight have been added for the first and last contact of the disk eclipse. The ingress starts when star 2 comes into optical contact with the outer edge of the accretion disk. Because of the lateral tilt of the disk (see Fig. 3) the eclipse ends when star 2 detaches from the upper rim of the disk (in our perspective view).

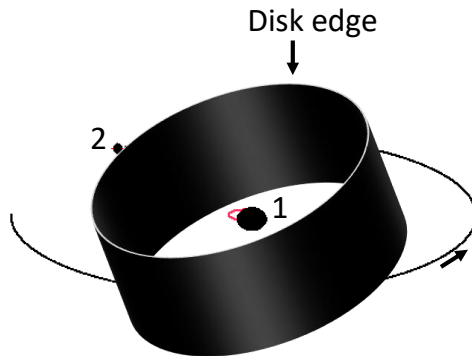


Fig. 3 : GSC 407-113 in our viewing perspective seen at orbital inclination $i = 70^\circ$ in phase 0.0917. The disk is tilted out of the orbital plane to the left side by 21° as well as to us by 11° in this favoured solution in line with all available data. Only the edge of the extraordinary thick disk in a simplified cylindrical shape is shown here.

Bedeckungen des übergroßen Vorläufers eines Weißen Zwerges aus Helium durch eine ausgedehnte Akkretionsscheibe entdeckt im Postmasstransfer-Doppelsternsystem 2MASS J02425562+6133133

Eclipses of an oversized pre-He white dwarf by a large accretion disk discovered in the post-mass-transfer binary 2MASS J02425562+6133133

Norbert Hauck

Abstract: *An eclipsing binary showing total eclipses lasting for 12 days within an orbital period of 67 days has been discovered in the Zwicky Transient Facility (ZTF) database. Further photometric data have been obtained from TESS data and own observations in the passbands B, V and Ic. Combining these results with the known distance of the object and stellar models then allowed to establish a first model of this detached binary system and to give a reliable estimation of its parameters. For the masses, radii and effective temperatures of its components we get about 3.58 Msun, 5.45 R_{sun} and 10320 K for the primary star, and about 0.23 Msun, 1.63 R_{sun} and 8000 K for the helium white dwarf precursor, which appears to be the largest one found so far. Both stars do not eclipse each other. The primary star is surrounded by a tilted accretion disk having a mean radius of about 69 R_{sun} and a semi-thickness of about 28 R_{sun}. The presence of such a large, geometrically and optically thick accretion disk in a post-mass-transfer binary is surprising, and has obviously never been seen before. It can be explained by an accretor, which maintained a near-critical rotation rate from before the end of mass transfer to date. [For the English version of this paper see: www.bav-astro.eu/rb/rb2024-1/1.html].*

2MASS J02425562+6133133 (GSC 04047-00113; UCAC4 758-022873; Tess Input Catalog TIC 50517739), hier **GSC 4047-113**, ist ein 12.8 Vmag helles stellares Objekt und liegt hinter dem Offenen Sternhaufen NGC 1027 im Sternbild Cassiopeia. Es wurde nun als Bedeckungsveränderlicher mit 67-Tage-Periode entdeckt (Abb.1) durch eine Recherche im Zwicky Transient Facility (ZTF) catalog of suspected variable stars von Chen et al. [1]. Seine Entfernung von 2892 ± 114 pc kennen wir von GAIA (DR3). In der Literatur wurde keine Spektralklasse für dieses Objekt gefunden. Jedoch ist es im Katalog von Skiff [2] als Emissionslinienstern klassifiziert.

Mit einem ferngesteuerten 17-Zoll-CDK-Teleskop in Utah, USA, wurden zusätzliche photometrische Daten im B, V und Ic erhalten. Die Resultate für die Tiefe und Dauer der Minima sind in Tabelle 1 aufgeführt, und wurden für die Modellierung im *Binary maker 3* (BM 3) verwendet. Die Helligkeit des Systems im B und V wurde von APASS (DR6), und die im K (K_s) von 2MASS übernommen.

Die Berechnung der effektiven Oberflächentemperatur des **Primärsterns** erfolgte auf Basis der Beziehung $E_{V-K} / E_{B-V} = (A_V - A_K) / (A_B - A_V)$ zwischen den Farbexzessen E_{λ} und den Extinktionen A_{λ} . Aus Tabelle 3 von Wang & Chen [3] ergibt sich $A_K \approx 0.078 A_V$, aus Cardelli et al. [4] $A_B = (0.9982 + 1.0495/R_V)A_V$ und aus Fitzpatrick & Massa [5] das totale/selektive Extinktionsverhältnis $R_V \approx -1.36 (E_{K-V}/E_{B-V}) - 0.79$. Nach Tabelle 5 von Pecaut & Mamajek [6] für Zwerge solarer Metallizität passt unser Farbexzessverhältnis dann schliesslich zu einer Primärsterntemperatur T_{eff} von 10320 ± 300 K. Zudem erhalten wir ein A_V of 1.68 ± 0.05 mag und ein erhöhtes $R_V (= A_V/E_{B-V})$ von 3.89. Bei

der bekannten Entfernung des Doppelsterns ergibt sich daraus bei unserem Sichtwinkel ein mittlerer Primärsternradius von $5.45 \pm 0.33 R_{\odot}$ (s. Tabelle 2).

Die **Sekundärstern**parameter, d.h. seine T_{eff} von 8000 ± 250 K und sein mittlerer Radius von $1.63 \pm 0.10 R_{\odot}$ wurden dann durch vergleichende Modellierung (inkl. Rotation) in den Bändern B, V und I_c im BM3 ermittelt. Dieser Sekundärstern passt nach z.B. Abb. C.2 von Istrate et al. [7] zum Vorläufer eines Weißen Zwerges aus Helium einer Masse von $0.23 M_{\odot}$. Natürlich würde auch ein normaler Zwerg von $1.7 M_{\odot}$ zu dieser T_{eff} und dem Radius passen, was jedoch aufgrund der Gesamtstruktur des Doppelsterns und seiner Evolutionsgeschichte (siehe hier unten) ausgeschlossen werden kann. Unser weißer He-Zwergvorläufer scheint der größte von wenigen Dutzend solcher bisher gefundenen Sterne zu sein (siehe z.B. die Literatureinführung in Wang et al. [8], die 0.03 bis $1.3 R_{\odot}$ als bekannten Größenbereich nennt).

Das **Hauptminimum** dauert 12 Tage einschließlich einer totalen Bedeckung von 11 Tagen (Abb. 1) und zeigt die Gegenwart einer großen, opaken **Akkretionsscheibe** um den Primärstern herum an. Der Scheibenradius beläuft sich auf $67 R_{\odot}$, und bis zu $73 R_{\odot}$ durch Gezeitenstreckung in Richtung auf den Sekundärstern hin, und füllt etwa 98% des Rocheloberadius des Primärsterns aus (s. Abb. 2). Zur Erzeugung der beobachteten Bedeckungsdauer sollte diese Scheibe aus der Bahnebene heraus zu uns hin verkippt sein. Zudem erscheint die Scheibe aus unserer Perspektive gesehen auch zur Seite hin, d.h. weg vom einlaufenden Begleitstern, aus der Bahnebene gekippt (s. Abb. 3). Dies erklärt den kürzeren Einlauf in die steilere Aussenfläche sowie den längeren Auslauf aus dem flacheren oberen Rand der Scheibe. Die Modellierung der Scheibengeometrie (inklusive verkippter Optionen) hat keine akzeptablen Lösungen für dünnere Scheiben ergeben. Jedoch wurde ein präzise passendes Modell für eine verkippte Scheibe mit einer Gesamtdicke von $\approx 55.6 R_{\odot}$ gefunden (s. Abb. 3).

Die Dauer der totalen Bedeckung wurde kurz nach dem 2. Kontakt gemessen, wo das Minimum etwas tiefer als in späteren Phasen sein könnte. Die in Tab. 1 angegebene Ein- und Auslaufdauer wurde aus der eigenen Photometrie sowie von TESS-Daten der Quick Look Pipeline of Huang et al. [9] abgeleitet. Für eine konvexe, äquipotentiale Aussenfläche der Scheibe ergibt sich aus der Einlaufmodellierung eine Bahnneigung von etwa 70° . Beide Scheibenflächen sollten die übliche konkave Form haben.

Die Lichtkurven (Abb. 1) zeigen zudem zur Phase 0.5 hin, d.h. zwischen den Phasen von etwa 0.37 und 0.61, ein flaches **Nebenminimum**, welches hier als ein Gezeitenbiegungseffekt (in Kombination mit der bekannten Gezeitenstreckung) interpretiert wird. Durch Anheben der dunklen Vorderkante der verkippten Scheibe könnten die Gravitationskräfte des Sekundärsterns eine Abschattung eines leuchtenden inneren Scheibenbereichs bewirken (s. Abb. 3). Wie auch immer, dieser Effekt kann hier wohl erstmalig ohne die Überlagerung ellipsoidaler Helligkeitsschwankungen des Massespenders und Massetransferaktivitäten untersucht werden. Unserer Farbphotometrie zufolge hat dieser leuchtende Innenbereich der Scheibe eine mittlere T_{eff} von etwa 5200 K. Sein geringfügiger Flussanteil von der geschätzten doppelten Tiefe des Nebenminimums wurde unserem Modell als drittes Licht zugefügt.

Aufgrund der beschriebenen Komponenten ist GSC4047-113 ein **Postmassetransfer-Doppelsternsystem** bestehend aus dem kontrahierenden Vorläufer eines Weißen

Zwerges aus Helium (dem Überbleibsel des zuvor massespendenden Sterns) und dem Primärstern, überraschenderweise mit einer *Akkretionsscheibe* (Abb. 2). Soweit dem Autor bekannt, wurde bis heute immer nur das Gegenteil davon, d.h. *Dekretionsscheiben* in Postmassetransfer-Doppelsternsystemen gefunden. Zur Klarstellung davon werden in Abb. 4 die Hauptminima der Lichtkurven der ersten Hüllenstern-Bedeckungssysteme HD 92406 (V658 Car) und HD 328058 gezeigt, die neulich von TESS mittels der Quick Look Pipeline von Huang et al. [9] erhalten wurden. Wie GSC 4047-113 sind beide langperiodische Postmassetransfersysteme : HD 92406 = A0pe shell + pre-He white dwarf, und HD 328058 = B3 shell + sdO (siehe Hauck [10], [11]). Ihre Hauptminima zeigen einen trichterförmigen äusseren Teil, der von den das Licht der Heliumbegleitsterne dimmenden, halbtransparenten *Dekretionsscheiben* erzeugt wird. Zu den Sternbedeckungen im zentralen Teil der Minima hin werden die von der Kante her gesehenen konkaven Scheiben dünner und erzeugen dadurch auf der Einlauf- und/oder Auslaufseite eine sichtbare Aufhellung. Nach z.B. Kapitel 8 von Rivinius et al. [12] sind *Dekretionsscheiben* generell gasförmig und geometrisch dünn. Sie sind somit von unserer staubigen, optisch und geometrisch dicken *Akkretionsscheibe* in GSC 4047-113 klar zu unterscheiden.

Die einzig plausible Erklärung für die Anwesenheit einer so beeindruckenden Akkretionsscheibe in einem Postmassetransfersystem scheint eine nahezu kritische Rotationsgeschwindigkeit des masseakkretierenden Sterns zu sein, die von vor Ende des Rochelobe-Überflusses (RLOF) bis heute andauert. Nach Abb. 3, A.1 und Tab. C.1 von Istrate et al. [7] hat unser weißer He-Zwergvorläufer ein geschätztes Alter von etwa 20 Myr ab Ende RLOF. Georgy et al. [13] haben ein passendes Sternmodell für Sterne solarer Metallizität bei Anfangswinkelgeschwindigkeiten $\Omega/\Omega_{\text{critical}}$ von 0.90 berechnet. Bei einer Masse von $3.58 M_{\odot}$ passt unser Primärstern auf ihren Entwicklungsweg, falls er Punkt 68 am Ende des Massetransfers erreicht hat. Nun, etwa 20 Myr später, liegt er auf Punkt 81, d.h. bei seiner nahezu niedrigsten T_{eff} auf der Hauptreihe. Zugleich sollte sein äquatoriales/orbitales Rotationsgeschwindigkeitsverhältnis W von 0.74 auf 0.82 gestiegen sein. Aus diesem Sternmodell und z.B. Abb.9 von Rivinius et al. [12] folgt, dass unser Primärstern in etwa 10 Myr seine Rotationsgeschwindigkeit auf $W \approx 0.70$ reduziert haben wird. Die Akkretion kann dann nicht länger (durch Dekretion) gestoppt werden, und unsere einzigartige Akkretionsscheibe wird für immer verschwinden.

Die **Evolutionsgeschichte** unseres Doppelsterns kann mit Gleichungen von Eggleton [14] rekonstruiert werden. Für konservativen Massetransfer und eine Spendersternstartmasse von z.B. $2.0 M_{\odot}$ ergibt sich eine Anfangsperiode von nur 0.79 Tagen bei einem Bahnradius von $5.6 R_{\odot}$. Der kleine Rocheloberadius von $2.17 R_{\odot}$ ermöglicht ungewöhnlich frühen Massetransferstart im Hauptreihenband ('Fall AB') und endet beim jetzigen Rocheloberadius von $19.7 R_{\odot}$ auf dem ersten Riesenast in einer Kreisbahn. Das extreme Endmassenverhältnis und der enorme Zuwachs an Bahnradius und Periode im Laufe seiner stellaren Entwicklung sind miteinander verknüpft.

Danksagungen:

Diese Arbeit hat Daten der CDS, Strasbourg und der TESS-Mission aus dem MAST-Archiv beim Space Telescope Science Institute (STScI) verwendet.

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

Tabelle 1 : Parameter des Doppelsternsystems GSC 4047-113

Epoche [HJD]	2459928.83(7)	Mitte Hauptminimum
Periode [Tage]	67.42(1)	() = Fehler in letzten Dezimalen
Maximallicht im B [mag]	13.213(10)	von APASS DR6
Maximallicht im V [mag]	12.809(20)	von APASS DR6
Maximallicht im K _s [mag]	11.315(18)	von 2MASS
Minimumtiefe im B [mag]	0.050(4)	totale Bedeckung (Phase0.9264)
Minimumtiefe im V [mag]	0.054(6)	totale Bedeckung (Phase0.9265)
Minimumtiefe im I _c [mag]	0.063(2)	totale Bedeckung (Phase0.9266)
Minimumtiefe im B [mag]	0.005(4)	Nebenminimum
Minimumtiefe im V [mag]	0.012(1)	Nebenminimum
Minimumtiefe im I _c [mag]	0.019(5)	Nebenminimum
Bedeckungsdauer [Tage]	12.36	Totalitätsdauer = 11.02 Tage
Einlaufdauer [Tage]	0.55	Phase 0.9083(7) bis 0.9165(7)
Auslaufdauer [Tage]	0.79	Phase 0.0799(18) bis 0.0917(7)
Bahnneigung i [Grad]	70 (± 2)	aus Scheibeneinlaufmodellierung
Bahnradius a [R _⊙]	108.78 ± 0.57	für R _⊙ = 696342 km
Entfernung [pc]	2892 ± 114	von GAIA DR3
Extinktion A _v [mag]	1.68 ± 0.05	für Exzess E _{B-V} = 0.43
Totale/selective Extinktion R _v	3.89	

Tabelle 2 : Parameter der Komponenten von GSC 4047-113

Parameter	Primärstern	Sekundärstern	Scheibe
Radius (gemittelt) [R _⊙]	5.45 ± 0.33	1.63 ± 0.10	68.8 ± 4.1
Radius (Pol/Äquator) [R _⊙]	4.71 / 6.30		
Temperatur (mittlere) T _{eff} [K]	10320 ± 300	8000 ± 250	
B-Flussanteil im Maximallicht	0.945	0.045	0.010
V-Flussanteil im Maximallicht	0.930	0.049	0.021
I _c -Flussanteil im Maximallicht	0.908	0.056	0.036
Masse [M _⊙]	3.58 ± 0.06	0.23 ± 0.01	

Quellen :

- [1] Chen, X., et al. 2020, ApJS, 249, 18
- [2] Skiff, B.A. 2022, Catalogue of Stellar Spectral Classifications, VizieR Online Data Catalog B/mk, 2014yCat....1.2023S
- [3] Wang, S. & Chen, X. 2019, ApJ, 877, 116
- [4] Cardelli, J.A., et al., 1989, ApJ, 345, 245
- [5] Fitzpatrick, E.L. & Massa, D. 2009, ApJ, 699, 1209
- [6] Pecaute, M.J. & Mamajek, E. 2013, ApJ, 208, 9
- [7] Istrate, A.G., et al. 2014, A&A, 571, L3
- [8] Wang, L., et al. 2020, AJ, 159, 4
- [9] Huang, C.X., et al. 2020, Res. Notes AAS, 4, 204
- [10] Hauck, N. 2018, BAV Rundbrief, 67, no. 2, 41; arXiv:1805.04318
- [11] Hauck, N. 2019, BAV Rundbrief, 68, no. 3, 109; arXiv:1907.08800
- [12] Rivinius, T., et al. 2013, A&A Review, 21, 69; arXiv:1310.3962
- [13] Georgy, C., et al. 2013, A&A, 553, A24
- [14] Eggleton, P. 2006, Evolutionary processes in binary and multiple stars, Cambridge University Press

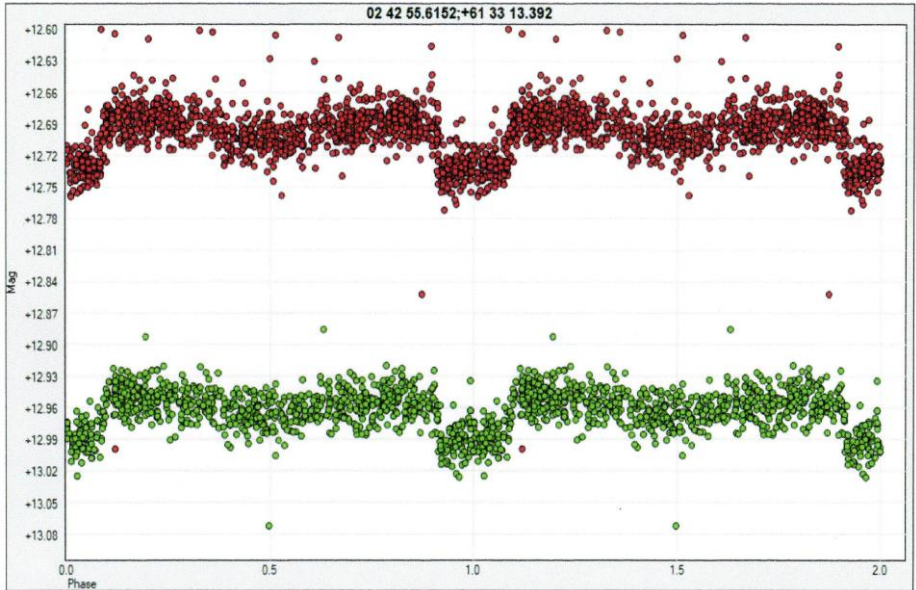


Abb. 1: Die Entdeckungslichtkurven von GSC 4047-113 aus 2115 periodengefalteten Datenpunkten der ZTF-Datenbank: unten im g- ($\lambda_{\text{eff}} 496 \text{ nm}$) und oben im r-Band ($\lambda_{\text{eff}} 621 \text{ nm}$). Neben der totalen Bedeckung des weißen He-Zwergvorläufers durch die *Akkretionsscheibe* (Phase 0) gibt es ein sonderbares, flaches Minimum bei Phase 0.5.

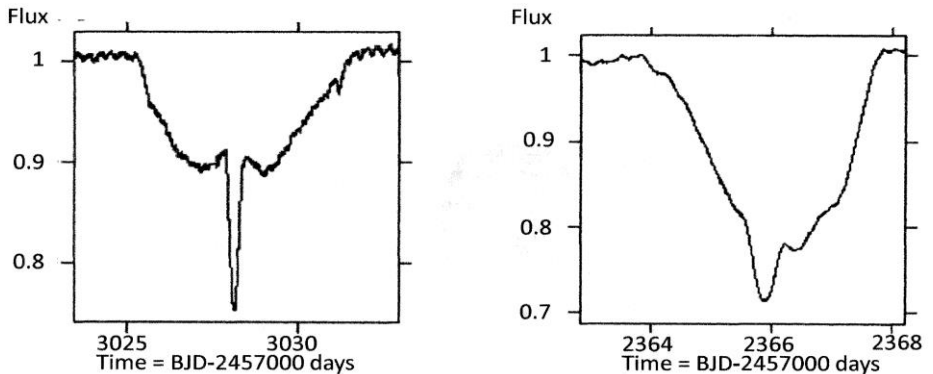


Abb. 4: TESS-Lichtkurven (SAP-Fluss von QLP) für die Hauptminima von HD 92406 (V658 Car) (links) und HD 328058 (rechts). Beide zeigen das Dimmen ihrer Helium-Begleitsterne durch die großen *Dekretionsscheiben* ihrer Hüllensterne in unserer Kantensicht. Auf einer oder beiden Seiten der zentralen Sternbedeckungen gibt es zudem eine sichtbare Aufhellung. Beide Merkmale fehlen bei GSC 4047-113 (Abb. 1).

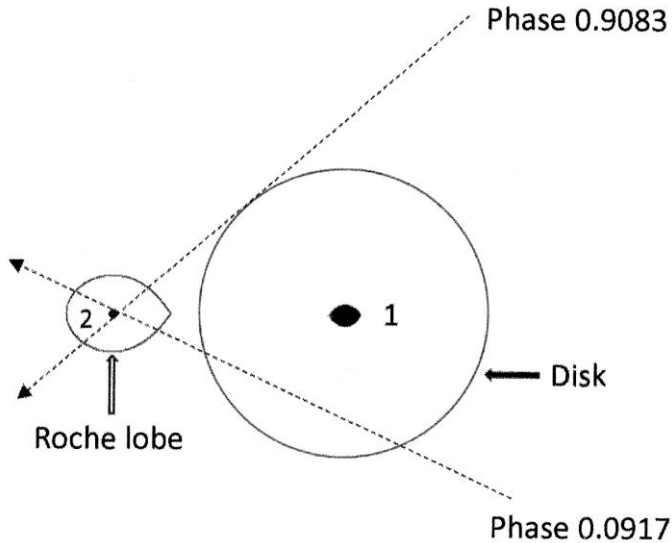


Abb. 2 : Maßstabsgetreue Skizze von GSC 4047-113 mit einer Flächenansicht der Akkretionsscheibe, einem Querschnitt der Sterne sowie unseren Sichtlinien beim 1. und 4. Kontakt der Scheibenbedeckung. Der Einlauf beginnt beim optischen Kontakt von Sekundärstern 2 mit der Aussenkante der Scheibe. Aufgrund ihrer seitlichen Verkippung (s. Abb. 3) endet die Bedeckung bei der Ablösung von Stern 2 vom oberen Scheibenrand (aus unserer Perspektive gesehen).

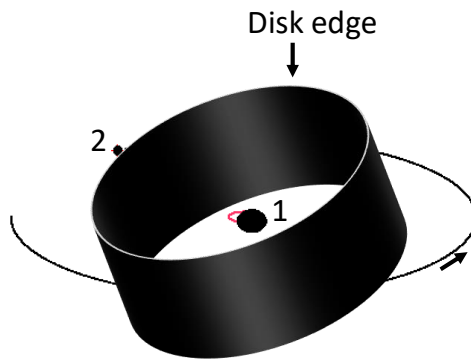


Abb. 3 : GSC 4047-113 aus unserer Perspektive bei Bahnneigung $i = 70^\circ$ in Phase 0.0917. Die Scheibe ist um 21° nach links und um 11° zu uns hin aus der Bahnebene gekippt, und dadurch in Übereinstimmung mit allen vorliegenden Daten. Nur die Aussenkante der extrem dicken Scheibe in vereinfachter Zylinderform ist abgebildet.