

A model for the massive binary V340 Muscae

Norbert Hauck

Abstract: *A synthetic light curve has been fitted to photometric data from the ASAS-3 database. The parameters of the best solution are well consistent with those derived from stellar models for both components for an initial metallicity $Z=0.020$ and a common age of 5 Myr. Therefore, we can reliably estimate the absolute dimensions of this close eclipsing binary system. Apparently, the O-type primary star has a mass of about 22.65 M_{sun} and a radius of 10.35 R_{sun} . For the secondary star, likely a late B-type dwarf, we obtain about 3.1 M_{sun} and 2.1 R_{sun} . Their mass ratio of about 0.138 might be the lowest found so far in O-type binaries. [English and German online-version of this paper available under www.bav-astro.eu/rb/rb2016-2/1.html].*

Variable stellar object V340 Mus (HD 113659) having a visual brightness of 8 mag is located in the neighborhood of the Coalsack dust cloud region of our galaxy, however, merely optically. Based on photometric data in passband V of the ASAS-3 database it has been classified as an eclipsing binary having an orbital period of 3.4273 days by Otero [1]. The spectral type of O9 IV for its primary component has been determined by Morgan et al. [2] and recently confirmed by Sota et al. [3].

Some new photometric data in passbands U and Ic have been collected with an internet-controlled 0.5m-reflector telescope in Siding Spring, Australia. 7 CCD images each have been binned. Comparative star has been HD 113708 in an angular distance of 8' having a brightness and color similar to V340 Mus.

The *Binary Maker 3* software (Bradstreet & Steelman, 2004) has now been used to find a light curve solution for the available data in passband V from the ASAS-3 database. For a carefully selected set of 18 data points thereof a σ -fit of 1.5 mmag, and for a larger set of 531 data points a σ -fit of 12 mmag has been achieved for the best solution (see Fig. 1). The effective temperature T_{eff} of 32400 (± 1000) K for the primary star has been derived for its spectral type O9 IV from the observational scales in tables 4 and 5 of Martins et al. [4]. Having found no signs of eccentricity in the light curve and given the relatively large R/a ratio of the primary star a circular orbit and synchronous rotation has been adopted. The components of the binary are in a detached configuration and show a total eclipse in the secondary minimum.

The parameter set of the best solution then has been compared with stellar models from the Geneva group [5], i.e. the primary star based on its T_{eff} and R/a ratio has been placed into their tables resp. Hertzsprung-Russell diagram including mass related evolutionary tracks. Together with Kepler's third law we get a single solution and can then derive mass, age, luminosity and radius of the primary star from the stellar model. The necessary interpolations between the mass steps have been done between identical evolutionary steps with fitted exponential mass functions. The reliability of the results then have been checked with the parameters of the secondary component being available via the ratios of masses and radii from the light curve solution, whereby a common age of both stars has been adopted. The radius of the secondary star being fixed by its mass and age can be derived from the stellar model.

Surprisingly, this radius differs by only 1% from the radius calculated from the ratio of radii. A somewhat supersolar initial metallicity of $Z = 0.020$ had to be selected, which, however, appears more or less normal for such a young binary being located a bit closer to the galactic center than our sun.

The contribution of the secondary star to the total light of the binary is not more than about 1%. Hence its T_{eff} cannot be determined precisely from our light curve solution. We get a T_{eff} of about 11600 K and 14750 K for the best solutions in passband Ic and V, respectively. Therefore, its T_{eff} of 12580 K has been taken from the stellar model.

All results are presented in tables 1 and 2. The parameter errors are related to an increase of 10% of the sum of residuals squared in the light curve solution. Apparently, mass ratio $q (= M_2/M_1)$ of 0.138 is the lowest one discovered so far in O-type binaries, even lower than the q -value of 0.173 found in HD 165246 by Mayer et al. [6]. This fact appears interesting in the light of ongoing discussions about possible formation processes of close O-type binaries mostly containing components of similar mass according to Chini et al. [7].

Table 1: Parameters of binary system V340 Mus

Epoch [HJD]	2453521.605(5)	mid prim. min., from [1], confirmed
Period [days]	3.42727(2)	from [1], improved with new data
Total light [V/Bmag]	8.03/8.02	mean value; from [8]
Maximum light [Vmag]	8.015	
Primary minimum [Vmag]	8.08	
Secondary min. [Vmag]	8.045	
Minimum duration [hours]	10.8	5.7 (contact 2-3)
Orbital inclination i [deg]	78.40 ± 0.24	
Orbital radius a [R_{\odot}]	28.23 ± 0.46	circular relative orbit
Mass ratio $q (M_2/M_1)$	0.138 ± 0.004	photometrical q
Distance [pc]	2350 ± 160	calculated for $A_v = 0.9$ mag
Age [Myr]	5.0 ± 0.3	from stellar model [5] for $Z = 0.020$

Table 2: Parameters of components of V340 Mus

Parameter	Primary star	Secondary star
Spectral type	O9 IV	(B8 V)
Temperature T_{eff} [K]	32400 ± 1000	12580 ± 420
Radius R (volume) [R_{\odot}]	10.35 ± 0.23	2.08 ± 0.05
Luminosity(bol.) [$\log L/L_{\odot}$]	5.02 ± 0.06	1.99 ± 0.07
Brightness [VMag]	- 4.71	+ 0.56
Mass [M_{\odot}]	22.65 ± 1.10	3.13 ± 0.15

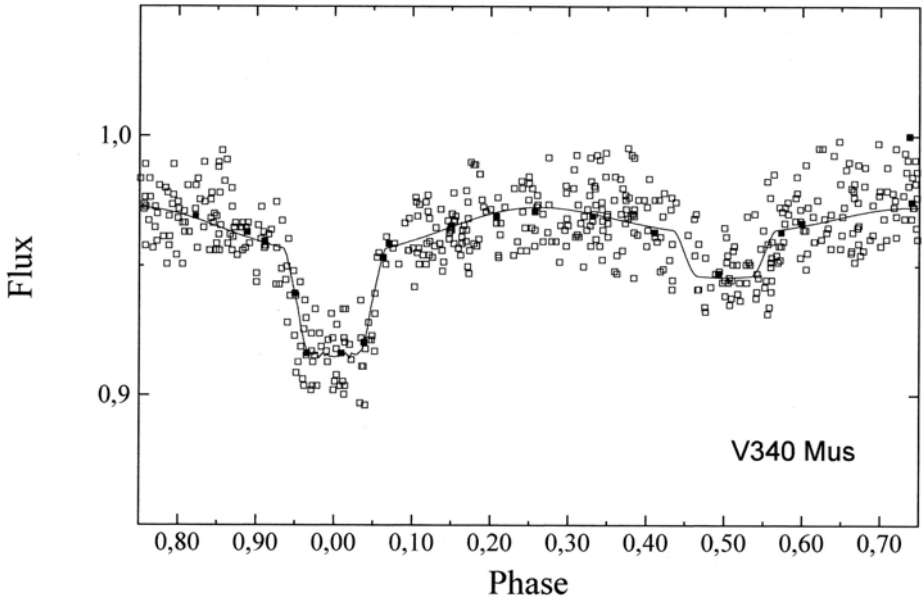


Fig. 1: Computed light curve for selected 18/531 ASAS-3 data (filled/hollow squares) of the massive binary V340 Mus

References:

- [1] S.A. Otero, *OEJV* **72**, (2007)
- [2] W.W. Morgan et al. , *ApJS* **2**, (1955), 41
- [3] A. Sota et al. , *ApJS* **211**, (2014), 10
- [4] F. Martins et al. , *A&A* **436**, (2005), 1049
- [5] G. Schaller et al. , *A&AS* **96**, (1992), 269
- [6] P. Mayer et al. , *A&A* **550**, (2013), A2...
- [7] R. Chini et al. , *MNRAS* **424**, (2012), 1925
- [8] B.E. Westerlund et al. , *A&AS* **78**, (1989), 203

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.astrouw.edu.pl/asas/>.

Ein Modell für den massereichen Doppelstern V340 Muscae

A model for the massive binary V340 Muscae

Norbert Hauck

Abstract: *A synthetic light curve has been fitted to photometric data from the ASAS-3 database. The parameters of the best solution are well consistent with those derived from stellar models for both components for an initial metallicity $Z=0.020$ and a common age of 5 Myr. Therefore, we can reliably estimate the absolute dimensions of this close eclipsing binary system. Apparently, the O-type primary star has a mass of about 22.65 M_{sun} and a radius of 10.35 R_{sun} . For the secondary star, likely a late B-type dwarf, we obtain about 3.1 M_{sun} and 2.1 R_{sun} . Their mass ratio of about 0.138 might be the lowest found so far in O-type binaries. [English and German online-version of this paper available under www.bav-astro.eu/rb/rb2016-2/1.html].*

Der Veränderliche V340 Mus (HD 113659) mit einer visuellen Helligkeit von 8 mag liegt lediglich optisch in der Nähe der Kohlendack-Staubwolke unserer Galaxis. Otero [1] hat ihn auf der Basis von photometrischen Daten von ASAS-3 im V-Band als Bedeckungsveränderlichen mit einer Bahnperiode von 3.4273 Tagen klassifiziert. Der Spektraltyp seiner Primärkomponente O9 IV wurde von Morgan et al. [2] bestimmt und neulich von Sota et al. [3] bestätigt.

Mit einem per Internet gesteuerten 0.5m-Spiegelteleskop in Siding Spring, Australien, wurden nun einige neue photometrische Daten im U- und Ic-Band gesammelt. Je 7 CCD-Bilder wurden gebinnt. Vergleichssterne ähnlicher Helligkeit und Farbe wie V340 Mus war HD 113708 in 8' Winkeldistanz.

Die *Binary Maker 3* - Software (Bradstreet & Steelman, 2004) wurde nun zur Suche nach einer Lichtkurvenlösung für die von ASAS-3 erhältlichen Daten im V-Band eingesetzt. Mit der besten Lösung wurde ein σ -Fit von 1.5 mmag zu 18 sorgfältig ausgewählten Datenpunkten, und ein σ -Fit von 12 mmag zu einem grösseren Datensatz von 531 Punkten erzielt (s. Abb. 1). Die effektive Temperatur T_{eff} des Primärsterns von 32400 (± 1000) K wurde für seinen Spektraltyp O9 IV aus den Beobachtungswerten der Tabellen 4 und 5 von Martins et al. [4] abgeleitet. Angesichts fehlender Anzeichen einer Exzentrizität in der Lichtkurve und des relativ grossen R/a -Verhältnisses des Primärsterns wurde eine Kreisbahn und synchrone Rotation angenommen. Die Doppelsternkomponenten sind in einer getrennten Konfiguration und zeigen eine totale Bedeckung im Nebenminimum.

Der Parametersatz der besten Lösung wurde dann mit Sternmodellen der Genfer Gruppe [5] verglichen, d.h. der Primärstern wurde mittels seiner T_{eff} und seinem R/a in die Tabellen bzw. das Hertzsprung-Russell-Diagramm mit masseabhängigen Entwicklungswegen plaziert. Aus der mit Hilfe von Kepler's drittem Gesetz erhaltenen eindeutigen Lösung konnten dann Masse, Alter, Leuchtkraft und Radius des Primärsterns entnommen werden. Die notwendigen Interpolationen erfolgten mit angepassten exponentiellen Massefunktionen zwischen identischen Entwicklungsstufen. Die Zuverlässigkeit der Resultate wurde dann mit den Parametern

des Sekundärsterns überprüft, die sich aus den Verhältnissen der Massen und Radien der Lichtkurvenlösung ergeben. Dabei wurde ein gemeinsames Alter beider Sterne angenommen. Aus dem Sternmodell ergibt sich für den über seine Masse und Alter fixierten Sekundärstern ein Radius, der überraschenderweise nur um 1% vom dem aus dem Radienverhältnis berechneten Wert abweicht. Erforderlich ist dabei eine etwas übersolare Metallizität von $Z=0.020$, die aber für einen dem galaktischen Zentrum etwas näher stehenden und so jungen Doppelstern als normal erscheint.

Der Beitrag des Sekundärsterns zum Gesamtlicht beträgt nicht mehr als etwa 1%. Seine Teff ist daher aus unserer Lichtkurvenlösung nicht präzise bestimmbar: die besten Lösungen im Ic- und V-Band ergeben etwa 11600 K und 14750 K. Daher wurde seine Teff von 12580 K dem Sternmodell entnommen.

Alle Resultate sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Die Parameterfehler beziehen sich auf eine jeweils 10%ige Erhöhung der Summe der quadrierten Abweichungen der Lichtkurvenlösung. Das Massenverhältnis $q (= M_2/M_1)$ von 0.138 ist offenbar das niedrigste bisher in Doppelsternen des Spektraltyps O entdeckte, d.h. sogar noch niedriger als das von Mayer et al. [6] bei HD 165246 gemessene q von 0.173. Dies erscheint interessant angesichts der laufenden Diskussionen zu möglichen Entstehungsprozessen enger Doppelsterne des O-Typs, die nach Chini et al. [7] meistens Komponenten ähnlicher Masse enthalten.

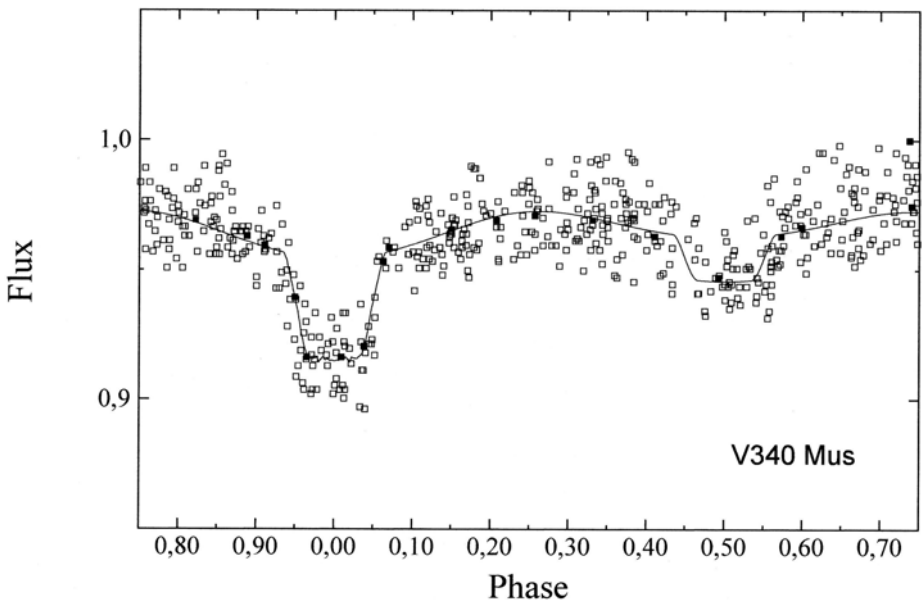


Abb. 1: Berechnete Lichtkurve für selektierte 18/531 ASAS-3 Daten (gefüllte/hohle Quadrate) des massereichen Doppelsterns V340 Mus

Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems V340 Mus

Epoche [HJD]	2453521.605(5)	Mitte Hauptmin., von [1], bestätigt
Periode [Tage]	3.42727(2)	von [1], verbessert mit neuen Daten
Gesamtlicht [V/Bmag]	8.03/8.02	Mittelwert; von [8]
Maximallicht [Vmag]	8.015	
Hauptminimum [Vmag]	8.08	
Nebenminimum [Vmag]	8.045	
Minimumdauer [Stunden]	10.8	5.7 (Kontakt 2-3)
Bahnneigung i [Grad]	78.40 ± 0.24	
Bahnradius a [Ro]	28.23 ± 0.46	kreisförmige relative Bahn
Massenverhältnis q	0.138 ± 0.004	photometrisch; $q = M_2/M_1$
Entfernung [pc]	2350 ± 160	berechnet für $A_v = 0.9$ mag
Alter [Myr]	5.0 ± 0.3	von Sternmodell [5] für $Z = 0.020$

Tabelle 2: Parameter der Komponenten von V340 Mus

Parameter	Primärstern	Sekundärstern
Spektraltyp	O9 IV	(B8 V)
Temperatur T_{eff} [K]	32400 ± 1000	12580 ± 420
Radius R (Volumen) [Ro]	10.35 ± 0.23	2.08 ± 0.05
Leuchtkraft(bol.) [log L/L \odot]	5.02 ± 0.06	1.99 ± 0.07
Helligkeit [VMag]	- 4.71	+ 0.56
Masse [M \odot]	22.65 ± 1.10	3.13 ± 0.15

Quellen:

- [1] S.A. Otero, OEJV **72**, (2007)
- [2] W.W. Morgan et al. , ApJS **2**, (1955), 41
- [3] A. Sota et al. , ApJS **211**, (2014), 10
- [4] F. Martins et al. , A&A **436**, (2005), 1049
- [5] G. Schaller et al. , A&AS **96**, (1992), 269
- [6] P. Mayer et al. , A&A **550**, (2013), A2...
- [7] R. Chini et al. , MNRAS **424**, (2012), 1925
- [8] B.E. Westerlund et al., A&AS **78**, (1989), 203

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.astrouw.edu.pl/asas/>.