

AF Ari - Ein heller Bedeckungsveränderlicher mit einem G-Riesen (english version after the german article)

Norbert Hauck

Abstract: *By combining existing and including new photometric data a first solution can now be presented: AF Ari is a well detached binary having an eccentric orbit and a period of 153 days. The secondary component is identified as an A-type dwarf. The mass of the G-type giant is estimated at 2.65 solar masses. Apparently, AF Ari is a new ζ (zeta) Aurigae type system and suited for double-lined spectroscopy.*

AF Ari (HIP 11035) wurde vom Hipparcos-Satelliten als Bedeckungsveränderlicher entdeckt und als ungelöst mit einem (oder möglicherweise zwei) Minima im originalen Hp-Datensatz präsentiert. Beide Minima wurden nun als totale Hauptminima identifiziert, und ein einziges flaches ringförmiges Nebenminimum ebenso in den Originaldaten gefunden. Angesichts ihrer zeitlichen Abstände wurde eine Kreisbahn erwartet. Jedoch stellte sich statt dessen eine exzentrische Bahn heraus, deren Apsidenlinie nahezu senkrecht zu unserer Sichtlinie orientiert ist.

Zusätzliche photometrische Daten von der automatischen Überwachung ASAS-3 wurden ebenfalls ausgewertet, obwohl bei der Doppelsternhelligkeit nahe am Sättigungsniveau der CCDs einige Minimaresultate verworfen werden mussten. Ein in die Beobachtungszeit fallendes Hauptminimum hat ASAS-3 jedoch stets angezeigt.

Durch Einsatz eines per Internet kontrollierten apochromatischen 4-Zoll Refraktors mit großer CCD in Neu Mexico, USA, wurden weitere wichtige photometrische Daten gesammelt. Die Szintillation des hellen Doppelsterns musste durch Verlängerung der Belichtungszeit mittels Defokussierung sowie jedes mal durch Mittelwertbildung aus 5 Bildern verringert werden. Nach sorgfältiger Überprüfung aller möglichen Bruchteile von Hipparcos's ursprünglicher Scheinperiode von 612 Tagen ergab sich letztlich eine korrekte Periode von einem Viertel davon.

Die aktuellste für AF Ari erhältliche Spektraltypbestimmung von 1989 ist G3III: +F6, d.h. inklusive Überstrahlung und/oder Unsicherheit [1]. Auf dieser Basis wurde die in der vorliegenden Arbeit verwendete effektive Oberflächentemperatur von 5250 K für die Primärkomponente aus Tabelle 1 von [2] abgeleitet, die Spektraltyp - T_{eff} - [Fe/H] - Beziehungen für 54 G-K - Riesen auflistet.

Aus dem beobachteten Verhältnis der Minimadauer und der Phasenposition des Nebenminimums wurden die Parameter e und ω der exzentrischen Bahn berechnet. Mit der « Binary Maker 3 » Software wurde dann die Lichtkurve präzise modelliert. Das Radienverhältnis k und Bahnneigung i wurden dem beobachteten Totalitätsanteil des Hauptminimums und der Tiefe des ringförmigen Nebenminimums angepasst. Die T_{eff} des Zwerges von etwa 8200 K wurde durch Anpassung an die Tiefe des Hauptminimums gefunden. Diese steht im Einklang mit photometrischen Daten von Hp/Tycho, die während der totalen Bedeckung des Zwerges im blauen Licht einen nahezu doppelt so großen Verlust wie im visuellen Licht zeigen.

Abbildung 1 zeigt die resultierende synthetische Lichtkurve mit in den Minima 15 Daten von Hp, 11 von ASAS, 2 CCD-Daten von der AFOEV und 15 neuen Daten. Standardabweichungen σ sind 0.008 mag für Hp, etwa 0.02 bis 0.04 mag für ASAS und etwa 0.01 mag für neue Daten. σ der 43 Daten zu dieser Lichtkurve ist 0.009 mag.

Aus der von Hipparcos gemessenen Entfernung und scheinbaren Helligkeit m wurde die absolute Helligkeit M berechnet. Weitere absolute Parameterwerte wurden daraus abgeleitet. Beide Sternmassen wurden den Entwicklungswegen im H-R-Diagramm für die chemische Zusammensetzung $Y=0.300$ und $Z=0.020$ (Schaller et al., 1992)[3] entnommen. Alle Resultate sind in den Tabellen 1 und 2 enthalten.

Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems AF Ari

Periode [Tage]	153.043 ± 0.003	
Epoche 0 [HJD]	2448081.41 ± 0.05	Mitte Hauptminimum (Hp+Fit)
Parallaxe [mbs]	5.31 ± 0.53	Hp: the New Reduction, (2007)
Gesamtlicht [Vmag]	6.575 ± 0.001	Hpmag umgerechnet mit [4]
Hauptminimum [Vmag]	6.826 ± 0.004	Hpmag umgerechnet mit [4]
Nebenminimum [Vmag]	6.620 ± 0.005	Hpmag umger. mit [4] + Fit
Hauptminimum [Tage]	2.55 (Kontakt 1 bis 4)	1.60 (Kontakt 2 bis 3)
Nebenminimum [Tage]	2.10 (Kontakt 1 bis 4)	
Phase Nebenminimum	0.7185	Phase Hauptminimum = 0
Phase Periastron	0.8195	
Länge Periastron ω [Grad]	162.5	
Exzentrizität e	0.365	
Bahnneigung i [Grad]	89.1 ± 0.4	
Grosse Halbachse a [AE]	$0.97 (0.88 - 1.08)$	

Tabelle 2: Parameter der Komponenten von AF Ari

Parameter	Primärstern	Sekundärstern
Spektraltyp	G3 III (von [1])	(A5 V, geschätzt aus Teff)
Teff [K]	5250 (von [1]+[2])	8200
m [Vmag]	6.826 ± 0.004	8.31 ± 0.02
M [Vmag]	0.45 (0.22 - 0.66)	1.94 (1.71 - 2.14)
Leuchtkraft bol. [L_{\odot}]	60 (51 - 76)	13.2 (10.5 - 15.7)
Radius [R_{\odot}]	9.2 (8.4 - 10.2)	1.84 (1.68 - 2.04)
Masse [M_{\odot}]	2.65 ± 0.15	1.85 ± 0.05

Danksagungen

Diese Arbeit hat die vom Centre de Données astronomiques (Strasbourg), France, (<http://cdsarc.u-strasbg.fr/>) geführten Datenbanken SIMBAD, VizieR and AFOEV genutzt. Daten der All Sky Automated Survey ASAS-3 wurden ebenfalls verwendet (<http://www.astrouw.edu/asas/>).

«Binary Maker 3» ist ein Softwarepaket entwickelt von Bradstreet und Steelman, (Eastern College, Pennsylvania, USA, 2004).

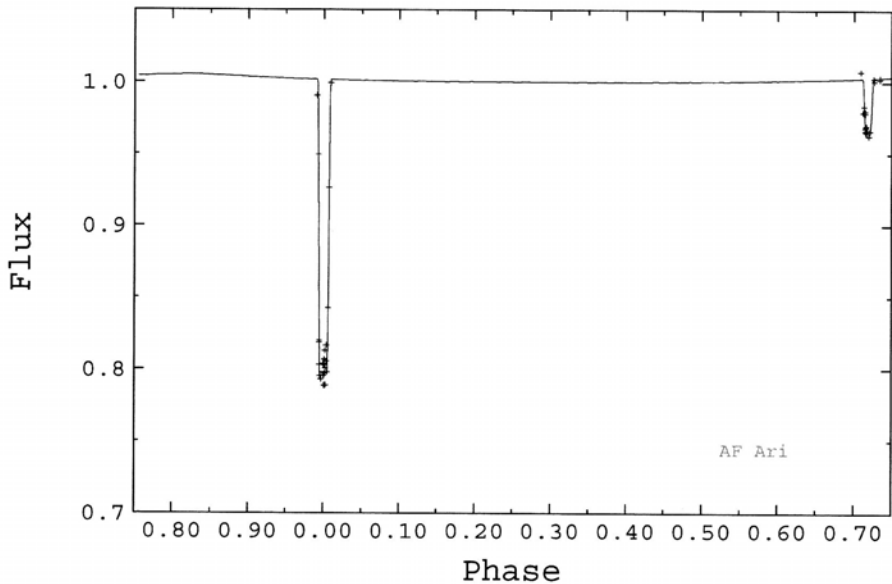


Abb. 1: AF Ari Lichtkurve für 550 nm erzeugt mit BM3 und Datenkreuze

Literaturzitate

- [1] The Perkins catalog of revised MK types for the cooler stars, Keenan et al., ApJS, **71**, 245, (1989)
- [2] P. Gondoin, Astron. Astrophys. **352**, 217-227, (1999)
- [3] G. Schaller et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **96**, 269 - 331, (1992)
- [4] Relation between Hp and V magnitudes, S.A. Otero, IBVS **5482**, (2003)

Norbert Hauck; F-83400 Hyères, France; E-Mail: hnhauck@yahoo.com

AF Ari - A bright eclipsing binary containing a G-type giant

Norbert Hauck

Abstract: *By combining existing and including new photometric data a first solution can now be presented: AF Ari is a well detached binary having an eccentric orbit and a period of 153 days. The secondary component is identified as an A-type dwarf. The mass of the G-type giant is estimated at 2.65 solar masses. Apparently, AF Ari is a new ζ (zeta) Aurigae type system and suited for double-lined spectroscopy.*

AF Ari (HIP 11035) has been discovered as an eclipsing binary by Hipparcos satellite and presented as an unsolved variable showing one (or possibly two) minima in the original Hp photometry data set. Both minima have now been identified as total primary minima, and a single shallow annular secondary minimum found as well in the original data. In the light of their time spacings a circular orbit was expected, however, it turned out to be an eccentric orbit instead, the line of apsides being orientated nearly perpendicular to our line of sight.

Additional photometric data of ASAS-3 automated survey have also been evaluated, although, given the brightness of the binary being close to saturation level of the CCDs some minima detections had to be discarded. On the other hand, ASAS-3 always indicated a primary minimum if having been present at the time of observation.

By using an internet controlled apochromatic 4-inch refractor equipped with a large CCD in New Mexico, USA, further important photometric data have been collected. Scintillation of the bright binary had to be controlled by increasing times of exposure using defocus mode, and averaging out of 5 images each time. Finally, after careful verification of all possible smaller fractions of Hipparcos's original apparent period of 612 days, the correct period turned out to be a quarter thereof.

The most recent spectral type determination available for AF Ari from 1989 classifies it as G3III: +F6, i.e. including blending and/or uncertainty [1]. Based thereon primary component's effective surface temperature of 5250 K has been derived from table 1 of reference [2] listing spectral type - T_{eff} - [Fe/H] relations for 54 G-K giants.

From observed ratio of minima durations and phase position of secondary minimum the eccentric orbit parameters e and ω have been calculated. Precise light curve modeling has then been done using the « Binary Maker 3 » software. The ratio k of smaller to larger star radius as well as orbital inclination i have been fitted to observed fraction of totality in primary eclipse and to depth of annular secondary eclipse. The effective surface temperature of the dwarf has been fitted to depth of primary minimum, and found to be about 8200 K. This is in line with photometric observations from Hipparcos/Tycho showing a loss of blue light being nearly twice the loss of visual light during total eclipse of the dwarf.

Figure 1 shows the resulting synthetic light curve including at minima events 15 data points from Hipparcos, 11 from ASAS, 2 (CCD data) from AFOEV and 15 from own

new observations. Average standard deviations are 0.008 mag for Hp, about 0.02 to 0.04 mag for ASAS, and about 0.01 mag for own observations. Standard deviation of the 43 data points to the light curve calculated by BM3 is 0.009 mag.

Distance and apparent magnitude m of AF Ari is known from Hp-measurements, and used for calculating absolute magnitude M . Further absolute parameter values have been derived thereof. The masses of both stars have been estimated from evolutionary tracks on the H-R diagram for chemical composition $Y=0.300$ and $Z=0.020$ (Schaller et al., 1992)[3]. All results are presented in Tables 1 and 2.

Table 1: Parameters of binary system AF Ari

Period [days]	153.043 ± 0.003	
Epoch 0 [HJD]	2448081.41 ± 0.05	mid primary minimum (Hp+fit)
Parallax [mas]	5.31 ± 0.53	Hp: the New Reduction, (2007)
Total light [Vmag]	6.575 ± 0.001	Hpmag transformed with [4]
Prim. minimum [Vmag]	6.826 ± 0.004	Hpmag transformed with [4]
Sec. minimum [Vmag]	6.620 ± 0.005	Hpmag transf. with [4] + fit
Primary minimum [days]	2.55 (contact 1 to 4)	1.60 (contact 2 to 3)
Second. Minimum [days]	2.10 (contact 1 to 4)	
Phase of sec. minimum	0.7185	Phase of primary minimum = 0
Phase of periastron	0.8195	
ω [deg]	162.5	(ω = Longitude of periastron)
Eccentricity e	0.365	
Inclination i [deg]	89.1 ± 0.4	
Semi-major axis a [AU]	0.97 (0.88 - 1.08)	

Table 2: Parameters of components of AF Ari

Parameter	Primary star	Secondary star
Spectral type	G3 III (from [1])	(A5 V, estimated from Teff)
Teff [K]	5250 (from [1]+[2])	8200
m [Vmag]	6.826 ± 0.004	8.31 ± 0.02
M [Vmag]	0.45 (0.22 - 0.66)	1.94 (1.71 - 2.14)
Luminosity bol. [L_{\odot}]	60 (51 - 76)	13.2 (10.5 - 15.7)
Radius [R_{\odot}]	9.2 (8.4 - 10.2)	1.84 (1.68 - 2.04)
Mass [M_{\odot}]	2.65 ± 0.15	1.85 ± 0.05

Acknowledgements

This research has made use of the SIMBAD, VizieR and AFOEV databases operated at the Centre de Données astronomiques (Strasbourg), France (<http://cdsarc.u-strasbg.fr/>). The database of All Sky Automated Survey ASAS-3 has also been used (<http://www.astrouw.edu/asas/>).

« Binary Maker 3 » is a software package developed by Bradstreet and Steelman, (Eastern College, Pennsylvania, USA, 2004).

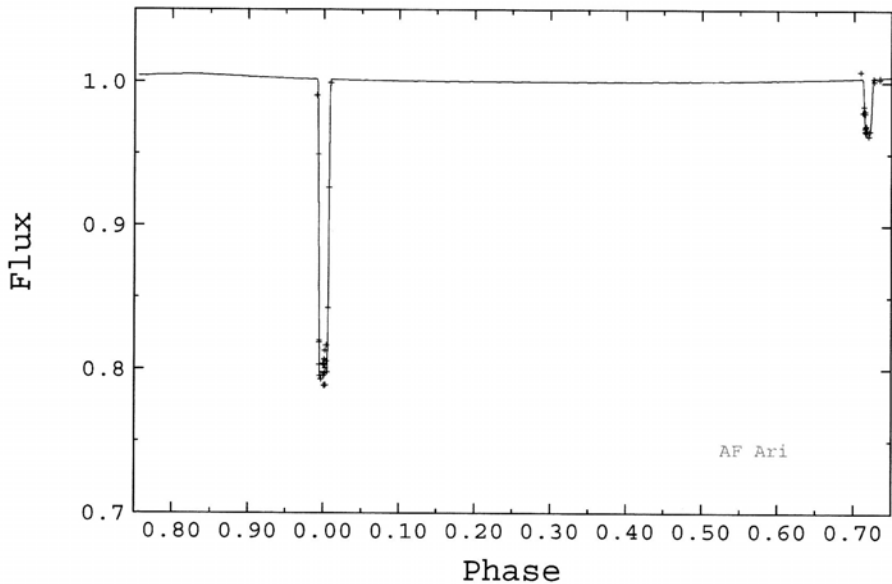


Figure 1: AF Ari light curve for 550 nm created with BM3 and data crosses

References

- [1] The Perkins catalog of revised MK types for the cooler stars, Keenan et al., *ApJS*, **71**, 245, (1989)
- [2] P. Gondoin, *Astron. Astrophys.* **352**, 217-227, (1999)
- [3] G. Schaller et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **96**, 269 - 331, (1992)
- [4] Relation between Hp and V magnitudes, S.A. Otero, *IBVS* **5482**, (2003)

Norbert Hauck; F-83400 Hyères, France; E-Mail: hnhauck@yahoo.com