

Eine photometrische Lösung für den Doppelstern V381 Canis Majoris

A photometric solution for the binary V381 Canis Majoris

Norbert Hauck

Abstract: *V381 CMa is known as a bright eclipsing binary system having an orbital period of 3.4 days. Modelling of old and new photometric data now revealed an annular eclipse in the primary minimum, i.e. a transit of a smaller and cooler companion in front of the A-type star primary component. By combining the obtained relative parameters of the components with stellar models a mass of about 2.76 Msun and a radius of 4.39 Rsun has been derived for the A-type star, and a mass of about 0.79 Msun and a radius of 0.72 Rsun for the secondary component having a T_{eff} of about 4850 K. Apparently, the components of the binary can be classified as an A-type subgiant and a K-type dwarf. [The online version of this paper is written in German and English].*

V381 CMa (HD52813) mit einer Helligkeit von etwa 7.7 Vmag wurde bei der Hipparcos (HP)-Mission [1] als periodisch veränderliches stellares Objekt entdeckt. Otero et al. [2] haben es später als einen Bedeckungsveränderlichen klassifiziert, eine korrigierte Bahnperiode von 3.37443 Tagen und eine Epoche von HJD 2452942.804 angegeben, und einen aus ausgewählten Daten der HP-Mission und ASAS-3 (Pojmanski, 2002) gefaltete Lichtkurve im V-Band präsentiert. Aus HP's Parallaxenmessungen ergibt sich eine Entfernung von 303 pc (252-379 pc für 1σ -, und 216-505 pc für 2σ - Messfehler).

Mit zwei per Internet gesteuerten 0.5m-Spiegelteleskopen vom CDK-Design in Siding Spring, Australien, wurden nun zusätzliche photometrische UBVIc-Daten gesammelt. Zur Begrenzung der Szintillationseffekte wurden die Daten von bis zu jeweils 14 CCD-Bildern gemittelt. Vergleichsterne ähnlicher Farbe waren HD 52731 und HD 52317 in 11-26' Winkelabstand vom Zielobjekt.

Mit Hilfe der *Binary Maker 3* – software (BM3) (Bradstreet & Steelman, 2004) berechnete Lichtkurven wurden den photometrischen Daten angepasst. Die endgültige Lösung erreichte ein σ -Fit von 2 mmag für 34 selektierte Datenpunkte von ASAS und HP plus 7 neue im V-Band (s. Abb. 1), und ein σ -Fit von 11 mmag zu einem kompletteren Satz von 725 Datenpunkten von ASAS und HP (s. Abb.2). Die Lichtkurve ist vom Typ EA und zeigt eine ringförmige Bedeckung im Hauptminimum. Die zwischen den Minima sichtbare Aufhellung wird von der asphärischen Verformung (\square Elliptizität \square) des A-Sterns verursacht. Beide Sterne sind in einer getrennten Konfiguration, d.h. sie füllen ihr Roche-Volumen nicht aus. Da keine Anzeichen einer Exzentrizität gefunden wurden, wurde eine Kreisbahn und synchrone Rotation angenommen.

Die effektive Temperatur T_{eff} der Primärkomponente von 9000 K wurde als Mittelwert aus der etwas niedrigeren T_{eff} für den Spektraltyp A2 V von Houk [3] und der etwas höher berechneten T_{eff} für geringe Extinktion beim beobachteten Farbindex $B - V$ von 0.04 ermittelt. Die Lichtkurvenmodellierung lieferte dann die T_{eff} des Begleitsterns.

Der A-Stern musste im Genfer Sternmodell von Mowlavi et al. [4] für solare Metallizität ($Z = 0.014$) etwas hinter das Endalter der Hauptreihe (TAMS) plaziert werden um das $R1/a$ -Verhältnis der Modellierung sowie Kepler's drittes Gesetz gleichzeitig zu erfüllen. Masse, bolometrische Leuchtkraft und Radius dieses Unterriesen wurden dem Sternmodell entnommen. Masse und Radius des Sekundärsterns wurden dann aus den Massen- und Radienverhältnissen der Lichtkurvenlösung berechnet. Der deutlich masseärmere Begleitstern entwickelt sich erheblich langsamer als der A-Stern und befindet sich daher noch in der Nähe des Nullalters der Hauptreihe (ZAMS). Die Endergebnisse sind in den Tabellen 1 und 2 aufgelistet.

Die Richtigkeit und Qualität der Lösung wird vom o.g. Sternmodell [4] bestätigt, da für ihre berechnete Masse sowohl Radius als auch T_{eff} der Sekundärkomponente mit einer Genauigkeit von 1% in das Modell passen. Die in Tabelle 2 angegebenen Fehlerbereiche für die Massen und andere absolute Parameter der Komponenten wurden aus dem möglichen Metallizitätsbereich von $Z = 0.01 - 0.02$ abgeleitet. Die photometrische Entfernung des Systems von 410 pc passt mit einer akzeptablen Abweichung von 1.3σ zu o.g. HP's Parallaxenmessungen.

Das Lichtkurvenmodellierungsverfahren erfordert stets eine sorgfältige Suche nach möglicherweise versteckten Alternativlösungen. Angesichts des etwas diffusen Originaldatenplots (Abb. 2) hatte der Autor anfangs noch die Hoffnung eine totale Bedeckung im Hauptminimum zu finden, d.h. die Verfinsterung eines heisseren Unterzwergebegleiters durch den A-Stern. Bei der Modellierung stellte sich jedoch heraus, dass mit einer solchen Konfiguration nur eine schlechtere Fitqualität erreichbar war. Zudem zeigte die Photometrie im U-Band nicht die erforderliche Tiefe des Hauptminimums.

Letztendlich können wir resümieren, dass es trotz des etwas unklaren ursprünglichen Datensatzes (Abb. 2) sowie einem beachtlichen Helligkeitsverhältnis der Komponenten (etwa 600/1 im V-Band) durch sorgfältige objektive Auswahl alter und Hinzufügung neuer Daten (Abb. 1) möglich war eine in sich konsistente photometrische Lösung für das Doppelsternsystem V381 CMa zu finden.

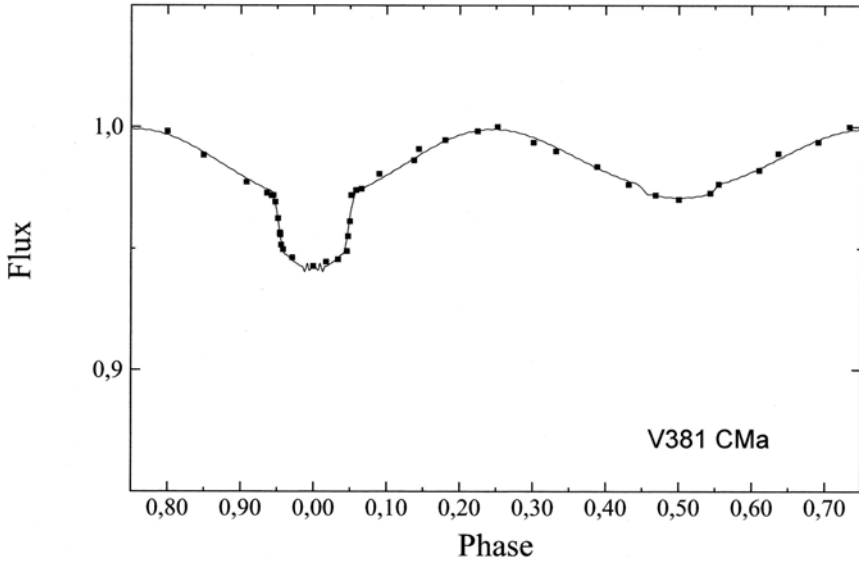


Abb. 1: Berechnete Lichtkurve (550 nm) + ASAS-, HP- u. Neue Daten von V381 CMa

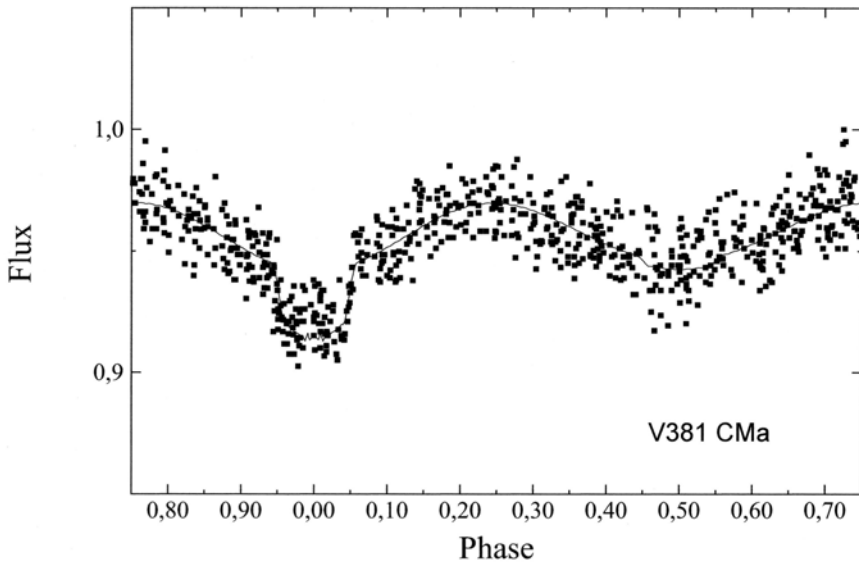


Abb. 2: Berechnete Lichtkurve für 550 nm + ASAS- und HP-Daten von V381 CMa

Tabelle 1: Parameter des Doppelsternsystems V381 CMa

| | | |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| Epoche [HJD] | 2452942.807(5) | Mitte Hauptmin.(von [2] + ND) |
| Periode [Tage] | 3.374425(3) | (von [2] + Neue Daten (ND)) |
| Gesamtlicht (Mittel) [V/Bmag] | 7.76 / 7.80 | von Simbad |
| Maximallicht [Vmag] | 7.74 | ASAS |
| Hauptminimum [Vmag] | 7.80 | ASAS |
| Nebenminimum [Vmag] | 7.77 | ASAS |
| Minimumdauer [Stunden] | 9.4 | 6.6 (Kontakt 2 – 3) |
| Bahnneigung i [Grad] | 89.22 ± 0.08 | |
| Bahnradius a [R _o] | 14.43 ± 0.32 | kreisförmige relative Bahn |
| Massenverhältnis q (M_2/M_1) | 0.287 ± 0.007 | photometrisches q |
| Entfernung [pc] | 410 ± 30 | Modellierungsfit (A_v 0.04 mag) |
| Alter [Myr] | 440 ± 15 | von [4] (für $Z = 0.01 - 0.02$) |

Tabelle 2: Parameter der Komponenten von V381 CMa

| Parameter | Primärstern | Sekundärstern |
|---|-----------------|-----------------|
| Spektraltyp | A2 IV | (K3 V) |
| Teff [K] | 9000 ± 300 | 4850 ± 200 |
| Radius (Volumen) [R _o] | 4.39 ± 0.10 | 0.72 ± 0.02 |
| Leuchtkraft (bolometr.) [L _o] | 113 ± 17 | 0.25 ± 0.05 |
| Helligkeit (absolut) [VMag] | - 0.34 | + 6.59 |
| Masse [M _o] | 2.76 ± 0.12 | 0.79 ± 0.04 |

Quellen:

- [1] The Hipparcos and Tycho catalogues, ESA, (1997)
 [2] S.A.Otero et al., IBVS **5557**, (2004), <http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html>
 [3] N. Houk, Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 3, Univ. Michigan, (1982)
 [4 N. Mowlavi et al., A&A **541**, 41, (2012)]

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/>.

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

A photometric solution for the binary V381 Canis Majoris

Norbert Hauck

Abstract: *V381 CMa is known as a bright eclipsing binary system having an orbital period of 3.4 days. Modelling of old and new photometric data now revealed an annular eclipse in the primary minimum, i.e. a transit of a smaller and cooler companion in front of the A-type star primary component. By combining the obtained relative parameters of the components with stellar models a mass of about 2.76 Msun and a radius of 4.39 Rsun has been derived for the A-type star, and a mass of about 0.79 Msun and a radius of 0.72 Rsun for the secondary component having a T_{eff} of about 4850 K. Apparently, the components of the binary can be classified as an A-type subgiant and a K-type dwarf. [The online version of this paper is written in German and English].*

Stellar object V381 CMa (HD 52813) having a visual brightness of about 7.7 mag has been discovered as a periodic variable by the Hipparcos (HP) mission [1]. Otero et al. [2] have classified it later as an eclipsing binary and given an amended orbital period of 3.37443 days and an epoch of HJD 2452942.804, and presented a folded light curve plot in passband V from selected data of the HP mission and the sky survey ASAS-3 (Pojmanski, 2002). From HP's parallax measurements we can calculate a distance of 303 pc (252 - 379 pc for a 1σ -, and 216 - 505 pc for a 2σ -error range).

Additional photometric data in the passbands UBVIc have now been collected with two 0.5m internet-controlled reflector telescopes of CDK design in Siding Spring, Australia. The CCD data obtained have been averaged from up to 14 images each in order to control scintillation effects. Comparative stars of similar color have been HD 52731 and HD 52317 in 11 to 26' angular distance from the target.

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 σ -fit of 2 mmag for 34 selected data points from ASAS and HP plus 7 new data points for the primary minimum in passband V (see Fig.1), and a sigma-fit of 11 mmag against a more complete set of 725 data points of ASAS and HP (see Fig. 2). The light curve is of type EA and showing an annular eclipse in the primary minimum. The visible brightening between the minima is caused by the non-spherical distortion ('ellipticity') of the A-star. Both stars are in a detached configuration, i.e. they do not fill out their Roche volume. Having found no signs of eccentricity a circular orbit and synchronized rotation have been adopted.

The effective temperature T_{eff} of the primary component of 9000 K was derived as an average between a somewhat lower T_{eff} for spectral type A2 V from Houk [3] and a

somewhat higher T_{eff} calculated for some extinction at the observed color index $B - V$ of 0.04. Light-curve modelling then delivered T_{eff} of the secondary component.

The primary A-type star had to be placed a bit behind the terminal age of the main sequence (TAMS) in the Geneva stellar model of Mowlavi et al. [4] for a solar metallicity ($Z = 0.014$) in order to match simultaneously the R_1/a ratio of the modelling and Kepler's 3rd law. Mass, bolometric luminosity and radius of this subgiant primary star have been taken from this stellar model. Mass and radius of the secondary star then have been calculated from the mass and radii ratios of the light-curve solution. The companion star having a significantly lower mass is evolving much slower than the A-type star and hence still close to the zero age main sequence (ZAMS). The final results are presented in tables 1 and 2.

The correctness and quality of the solution is confirmed by said stellar model [4], since for its calculated mass both radius and T_{eff} of the secondary component fit into the model within an accuracy of 1%. The error margins in Table 2 for masses and other absolute parameters of the components have been derived for a possible metallicity range of $Z = 0.01 - 0.02$. The system's photometric distance of 410 pc fits within an acceptable deviation of 1.3σ to said HP's parallax measurements.

Generally, the light curve modelling procedure does require a careful search for possibly hidden alternative solutions. In the light of a somewhat diffuse original data plot (Fig. 2) the author started with some hope for finding a total eclipse in the primary minimum caused by an occultation of a hotter subdwarf companion. However, it became clear during the modelling that with such a configuration only a worse quality of the fit could be achieved. Moreover, the photometry in passband U did not show the required deeper primary minimum.

Finally, we can conclude that in spite of a somewhat unclear original data set (Fig. 2) and a remarkable brightness ratio of the components (about 600/1 in passband V) it has been possible by selecting carefully and objectively old and adding some new data (Fig. 1) to find a consistent photometric solution for the binary system V381 CMa.

References:

- [1] The Hipparcos and Tycho catalogues, ESA, (1997)
- [2] S.A.Otero et al., IBVS **5557**, (2004), <http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html>
- [3] N. Houk, Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 3, Univ. Michigan, (1982)
- [4] N. Mowlavi et al., A&A **541**, 41, (2012)]

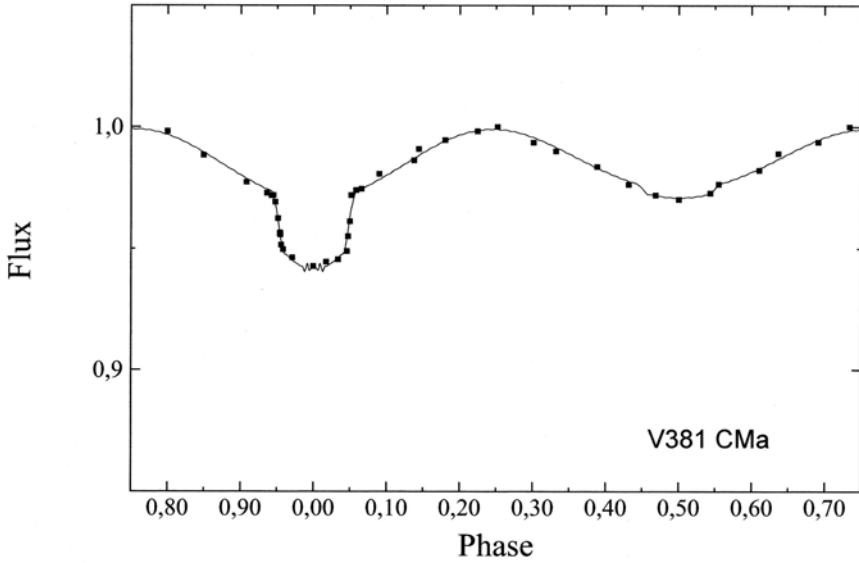


Fig. 1: Computed light curve for 550 nm with ASAS-, HP- and new data of V381 CMa

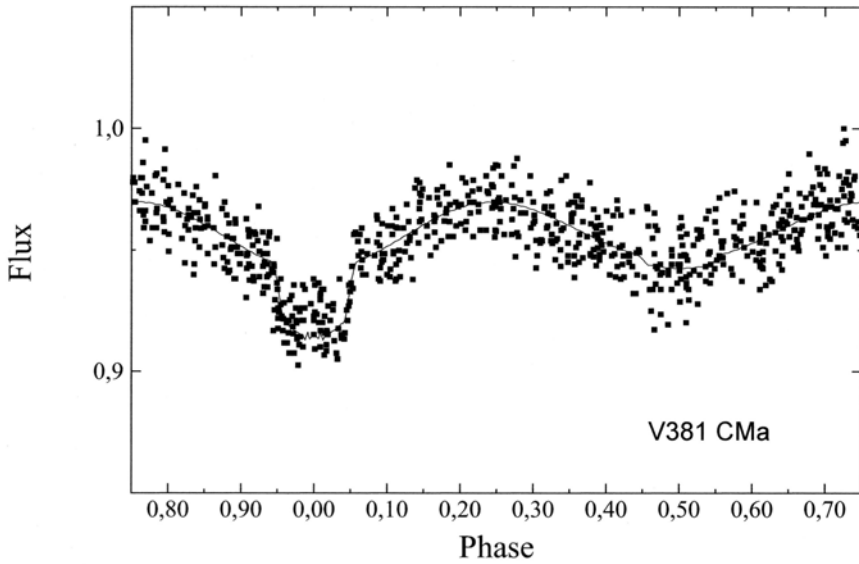


Fig. 2: Computed light curve for 550 nm with ASAS- and HP-data of V381 CMa

Table 1: Parameters of binary system V381 CMa

| | | |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Epoch [HJD] | 2452942.807(5) | mid prim. min. (from [2] +ND) |
| Period [days] | 3.374425(3) | from [2] + New Data (ND) |
| Total light (mean) [V/Bmag] | 7.76 / 7.80 | from Simbad |
| Maximum light [Vmag] | 7.74 | from ASAS |
| Primary minimum [Vmag] | 7.80 | from ASAS |
| Secondary minimum [Vmag] | 7.77 | from ASAS |
| Minimum duration [hours] | 9.4 | 6.6 (contact 2 - 3) |
| Orbital inclination i [deg] | 89.22 ± 0.08 | |
| Orbital radius a [R_{\odot}] | 14.43 ± 0.32 | circular relative orbit |
| Mass ratio q (M_2/M_1) | 0.287 ± 0.007 | photometrical q |
| Distance [pc] | 410 ± 30 | modelling fit ($A_v = 0.04$ mag) |
| Age [Myr] | 440 ± 15 | from [4] (for $Z = 0.01 - 0.02$) |

Table 2: Parameters of components of V381 CMa

| Parameter | Primary | Secondary |
|---|-----------------|-----------------|
| Spectral type | A2 IV | (K3 V) |
| Teff [K] | 9000 ± 300 | 4850 ± 200 |
| Radius R (volume) [R_{\odot}] | 4.39 ± 0.10 | 0.72 ± 0.02 |
| Luminosity (bolometric) [L_{\odot}] | 113 ± 17 | 0.25 ± 0.05 |
| Brightness (absolute) [VMag] | -0.34 | $+6.59$ |
| Mass [M_{\odot}] | 2.76 ± 0.12 | 0.79 ± 0.04 |

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/>.