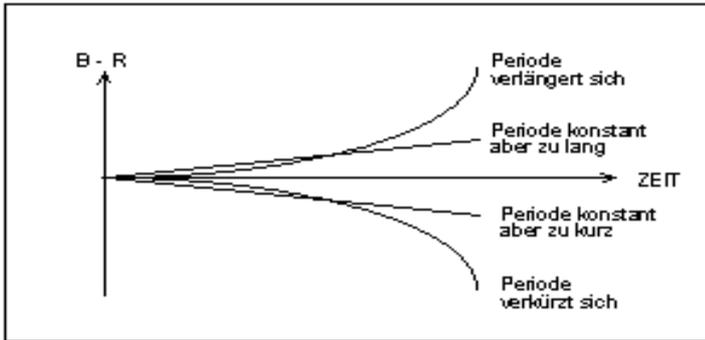


„Scharf hingesehen – Was B-R verraten“

W. Quester und F. Walter

vorgetragen von F. Walter in Hartha 2015



Verläufe von
; Zeiten visueller Schätzungen und
nnt. Ihre physikalischen Ursachen sind

arte nur in wenigen Fällen periodische
ere (B-R)-Kurve weil die Messgenauigkeit
atz von Multipliern nach dem 2. Weltkrieg
jkeit erheblich (Hundertstel oder gar Millimag
waren massig, schwer zu handhaben, teuer. Sie
arten verwendet.

Hut ab vor den Erfindern des CCD:



Bell Labs researchers Willard Boyle (left) and George Smith (right) with the charge-coupled device, which transforms patterns of light into useful digital information and is the basis for many forms of imaging, including camcorders and satellite surveillance. Photo taken in 1974.
Photo: Alcatel-Lucent/Bell Labs

Erst mit der Erfindung des CCDs durch Boyle & Smith wurde die genaue Messung von Sternhelligkeiten, Lichtkurven eine Beschäftigung vieler Amateure. CCD-Kameras waren erschwinglich, leicht genug um an kleinen Fernrohren verwendet zu werden und sie lieferten ein Bilddokument, das auch lange nach der Aufnahme unter verschiedenen Aspekten ausgewertet werden konnte. Heute ist „lichtelektrische Fotometrie“ auch mit DSLRs und sogar billigen Digiknipsen möglich. Automatische Surveys vom Erdboden aus oder gar mit Satelliten sind ohne CCDs nicht denkbar.

Die im Folgenden zu besprechenden Lichtzeiteffekte verdanken Ihre Entdeckung der verbreiteten Anwendung von CCDs und ihren Abkömmlingen (MOS, CMOS).

Lichtzeiteffekte in (B-R)-Diagrammen

Periodische Schwankungen von (B-R)-Kurven können magnetischen Eigenheiten von Sternen oder Bahnbewegungen eines „Taktgebers“ (Bedeckungsveränderlicher oder Pulsierer) um einen anderen Stern zugeschrieben werden. Das soll uns im Folgenden beschäftigen.

Minima oder Maxima setzen Zeitmarken während des Umlaufs auf der Bahn. Daraus lässt sich grob auf die Form und Lage der Bahn des Veränderlichen um den 3. Körper schließen. (B-R)-Kurven liefern nur eine qualitative Vorstellung, die die Bahnen zumindest anschaulich machen. Die Anschaulichkeit zu vermitteln ist das Ziel des Vortrags. Hat man sowohl die (B-R)-Kurve {B-RK} als auch Messungen der Radialgeschwindigkeiten lässt sich die Bahn genau bestimmen.

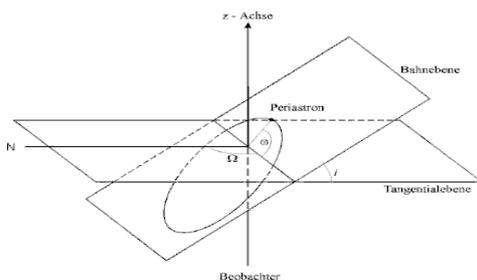
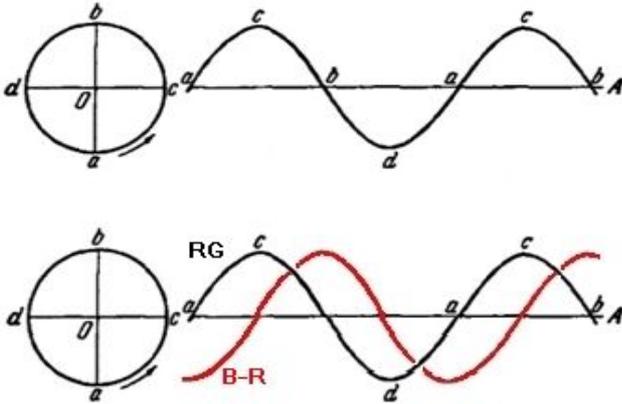


Abbildung 1
Definition der geometrischen Bahnelemente (aus Dissertation Schweickardt, Heidelberg 2000)

Bahnelemente

Vereinfachte Darstellung von Bahnelementen. Viele Winkel, Knotenlinie, Lage von Peri- und Apastron, insgesamt 7 Parameter, sind für eine Bestimmung der Bahnelemente zu berechnen.

Kreisbahn als einfachster Fall



Auf der oberen Zeichnung schauen wir links von oben auf eine Kreisbahn: **Die RG-Kurve rechts sieht ein Beobachter wenn er diese Bahn vom unteren Bildrand aus betrachtet.** Die RG-Kurve ist mit ein bißchen Vorstellungsvermögen zu verstehen.

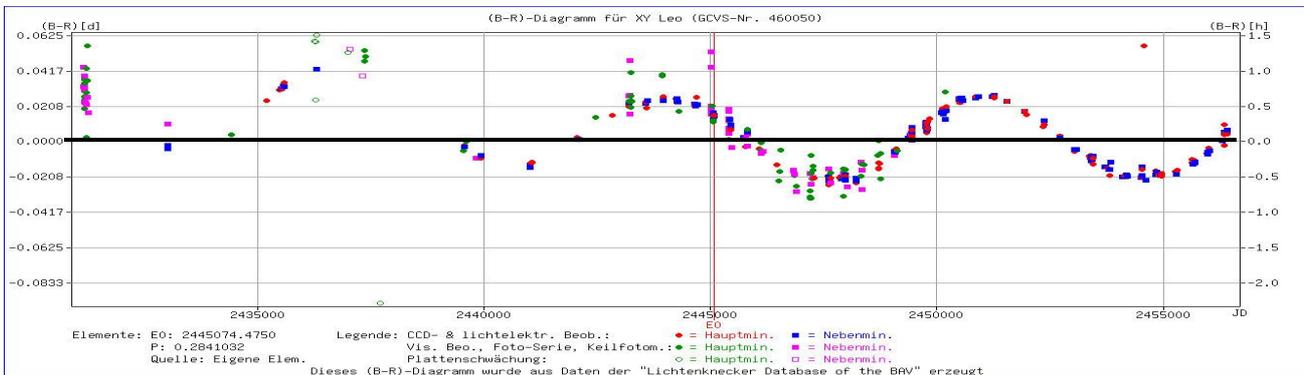
Wie entstehen aus den RG die B-R ?

Um die ROTE B-RK zu verstehen genügt es nicht, auf einzelne Punkte der Bahn zu schauen, sondern man muss überlegen wie der Taktgeber zum betrachteten Bahnpunkt gelangt ist. Nehmen wir Punkt a. Dort gilt $RG = 0$. Der Taktgeber ist von Punkt b zu a gelangt. Von b aus hat er sich dem

Beobachter genähert, erst langsam, dann immer schneller bis in Punkt d seine maximale negative RG erreicht ist. Von d bis a nähert er sich uns immer noch, aber mit abnehmender RG. Die beobachtete KONSTANTE Periode PT des Taktgebers erfährt einen „Dopplereffekt“. Für die B-R bedeutet das (Annahme dass B-R von PT im Punkt b gleich 0 ist) eine Verfrühung der B-R bis Punkt a erreicht ist. Ab da entfernt sich der Taktgeber von uns; die B-R nehmen zu, erreichen in c die Nulllinie und in b das positive Maximum. **ACHTUNG:** die gerade geschilderte Bewegung führt zu einer Verschiebung ins Negative gegen die gezeichnete rote Kurve. Die über die gesamte Bahn gemittelte Periode des Taktgebers wird die Nulllinie wie in der Zeichnung legen.

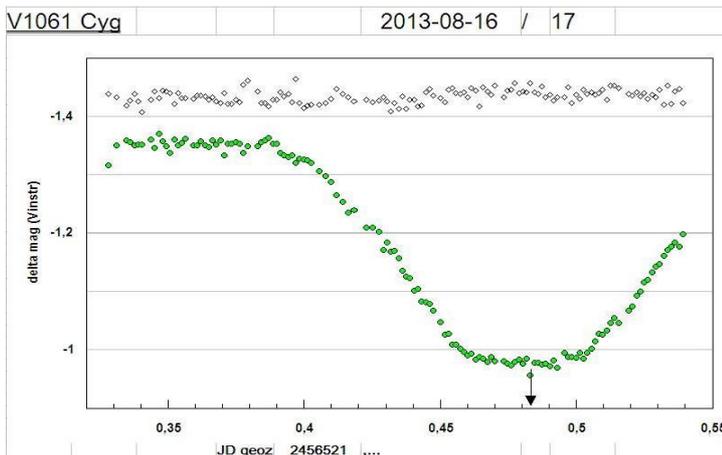
Ergebnis der Überlegungen: Die B-RK ist das Integral über die RG.

Ein Beispiel für sinusförmige B-R, verursacht durch den Umlauf eines Bedeckungspaares um eine zusätzliche Masse ist die (B-R)-Kurve von XY Leonis:



3 Beispiele mit anderen Formen der (B-R)-Kurve:

Bedeckungsveränderlicher V1061 Cygni, RR-Lyrae-Stern TU Ursae Majoris, Mirastern T Cephei



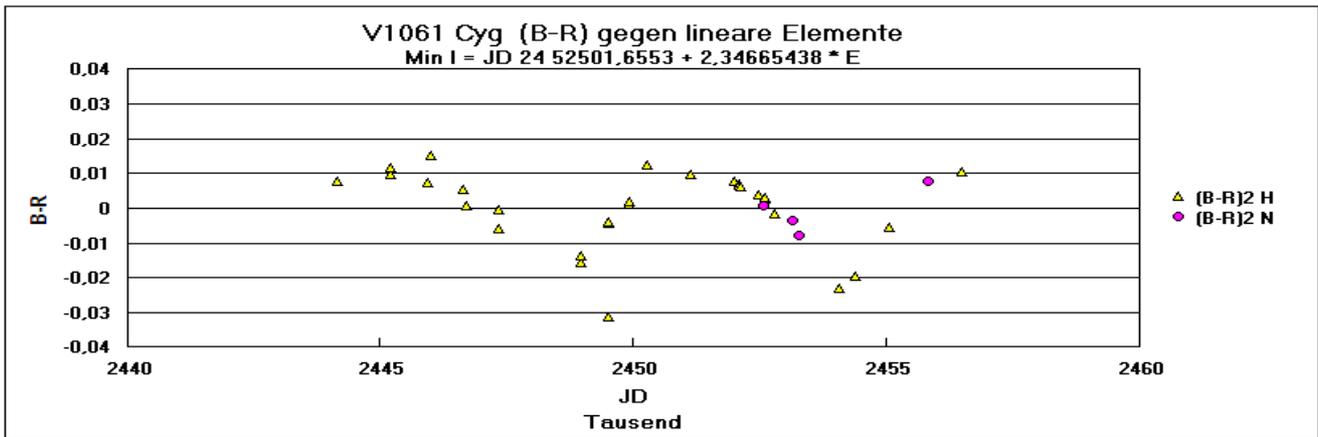
V1061 Cygni

Max: 9,4 Min:9,9

P = 2,347 Tage, zunehmend

D = 3,9 Std. d = 1 Std.

(B-R)-Kurve von V1061 Cygni gegen eine im betrachteten Zeitraum gültige durchschnittliche Periode



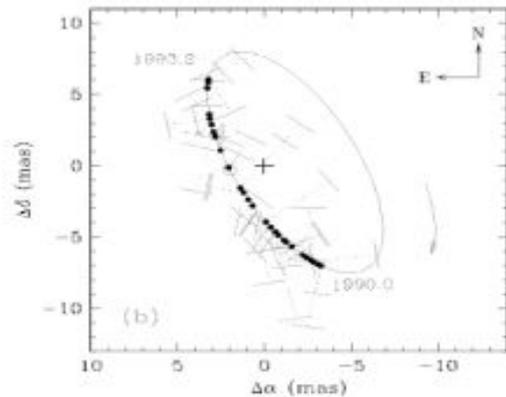
Diese Kurve gab den Anlass für Beschäftigung mit dem Lichtzeiteffekt. Sie erinnert an Arkadenbögen um italienische Marktplätze. Wenn man sich einfühlt sieht man wie links um JD 24 45000 die B-R eine Zeit lang konstant bleiben aber dann rasend ins Minus gehen. Sehr schnell steigen sie wieder an bis zum erneuten Maximum und dann wiederholt sich das Ganze. Es scheint natürlich wenn das spitze Minimum als der schnelle Schwung des Bedeckungspaares ums Periastron eines 3. Körpers gedeutet wird.

Die B-R schwanken mit einer Periode von 16 Jahren und einer Amplitude von +-21 Minuten = 1260 Sekunden. Der Lichtlaufzeit von 1260 Sekunden entsprechen 2,5 Astronomische Einheiten (AE). Das ist der gegenseitige Abstand des uns nächsten und des von uns am weitesten entfernten Punktes der von uns gesehenen, auf die Himmelsebene projizierten, Bahn. Über die wahren Abmessungen der Bahn sagen sie nichts aus. Auch über die Bahnneigung erfahren wir nichts. Die Form der B-RK ist aber kein reiner Sinus; es muss sich um eine elliptische Bahn handeln. Das spitze Minimum deutet an, dass ihr Periastron zu uns zeigt.

Vermutete Bahnlage von V1061 Cygni

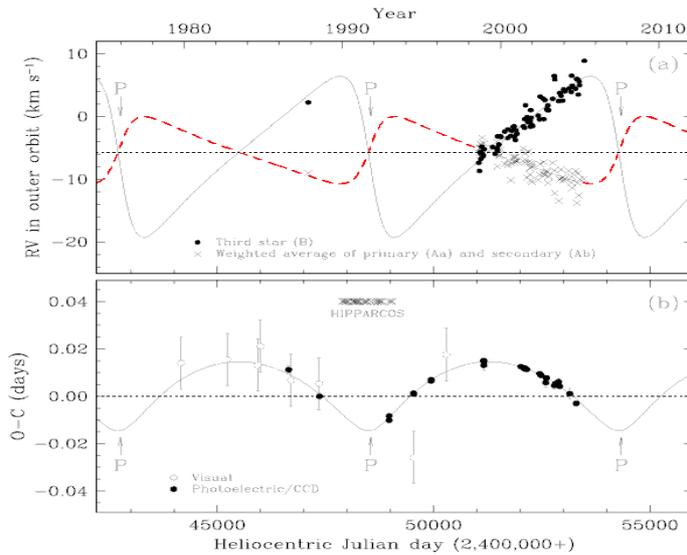


Die Projektion der wahren Bahn



Zwischen den beiden Bildern findet ein Standortwechsel des Beobachters statt. Links schaut er in der Bildebene von unten, rechts sieht man die Bahn wie sie dem irdischen Beobachter am Himmel erscheint; die lange Achse der Bahn ist verkürzt. Das Kreuz steht für das Massenzentrum der drei Komponenten; der Kreis entspricht dem Periastron.

RG-Kurve des Bedeckungspaares (ROT), B-RK und Bahnelemente nach TORRES



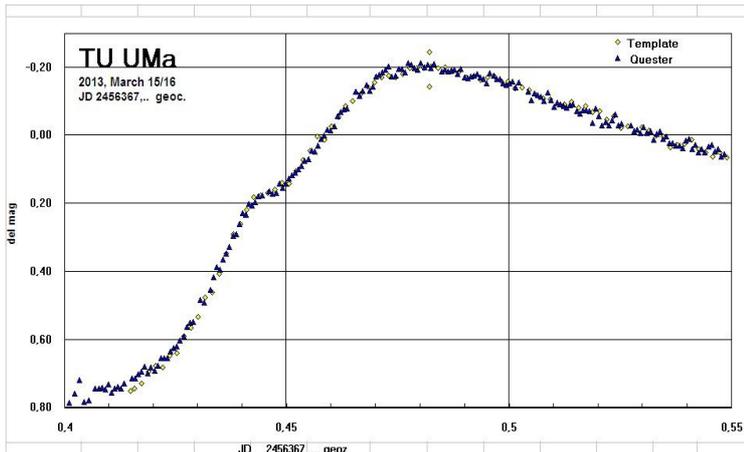
$$\omega = 97^\circ$$

$$i = 112^\circ$$

$$e = 0,47$$

$$a = 9,2 \text{ AE}$$

Unten die B-RK von V1061 Cyg, darüber die Radialgeschwindigkeiten. Die rote Kurve sind die RGs des Bedeckungspaares um die 3. Komponente. Graue Kreuze sind ihre Messwerte

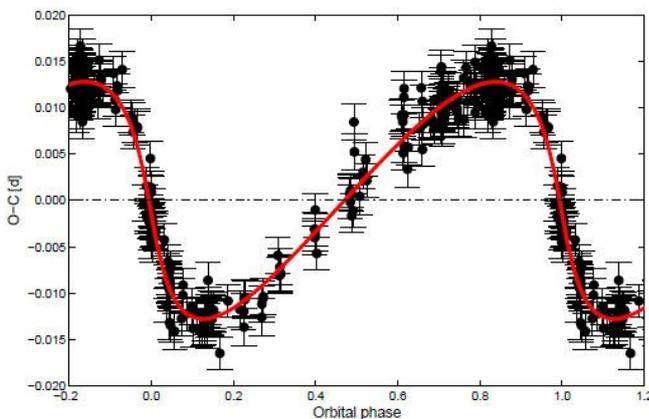


TU UMa

Max: 9,3 Min: 10,3

P = 0,55766 Tage, abnehmend

Die Form der Lichtkurve ist viele Jahre konstant



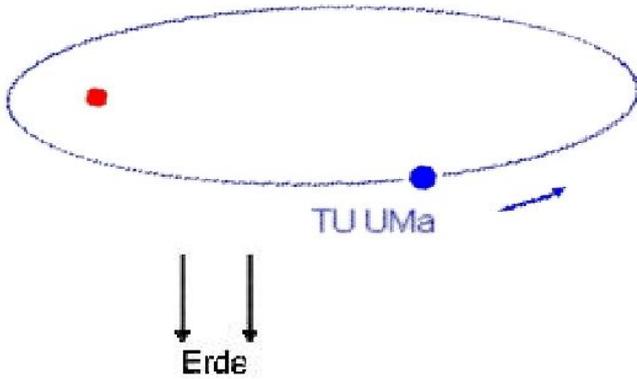
(B-R)-Kurve von TU Uma

B-R von TU Uma nach LISKA et al. (2015). Langsam zunehmende B-R fallen plötzlich ins Minus und verbleiben dort für einige Zeit.

Die B-R des RR-Lyrae-Sterns schwanken mit einer Periode von 23 Jahren und einer Amplitude von ± 20 Minuten = ± 1200 Sekunden

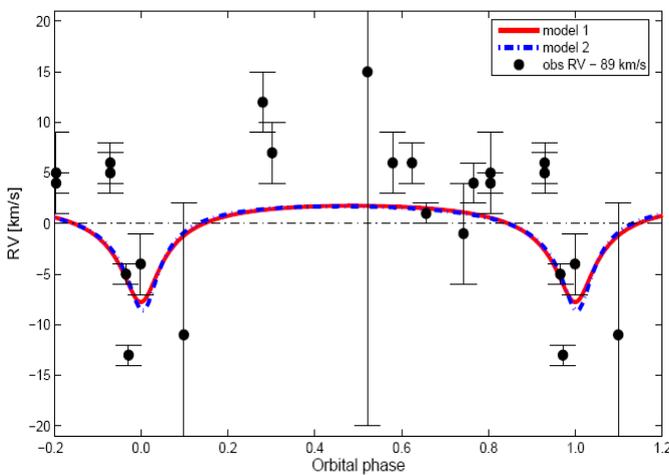
Fig. 4. O-C diagram of TU UMa constructed only from photoelectric, CCD and DSLR measurements, after subtraction parabolic trend, and phased with the orbital period based on model 2.

Vermutete Bahnlage von TU Uma mit Bahndaten von LISKA et al.



- $\omega = 184,8^\circ$
- $i = 90^\circ ?$
- $e = 0,673$
- $a = 2,98 \text{ AE}$

RG-Kurve von TU Uma



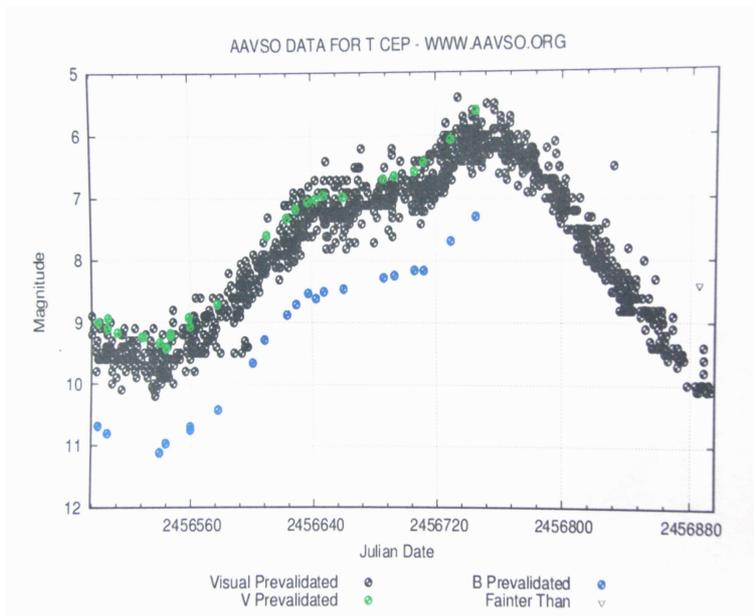
Die farbige Linie ist die RG-Kurve des RR-Lyrae-Sterns nach LISKA et al. Die Punkte zeigen die RG des Massenzentrums.

Als weitere RR-Lyrae-Sterne mit Lichtzeiteffekt sind bekannt:

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| RS Boo | RUCVn | RZ Cet | S Com |
| SU Dra | VX Her | SS Leo | AV Peg |
| AT Ser | RV Uma | BB Vir | |

Der Mirastern T Cephei

Lichtkurve von T Cephei



Max: 5,2 Min: 11,5

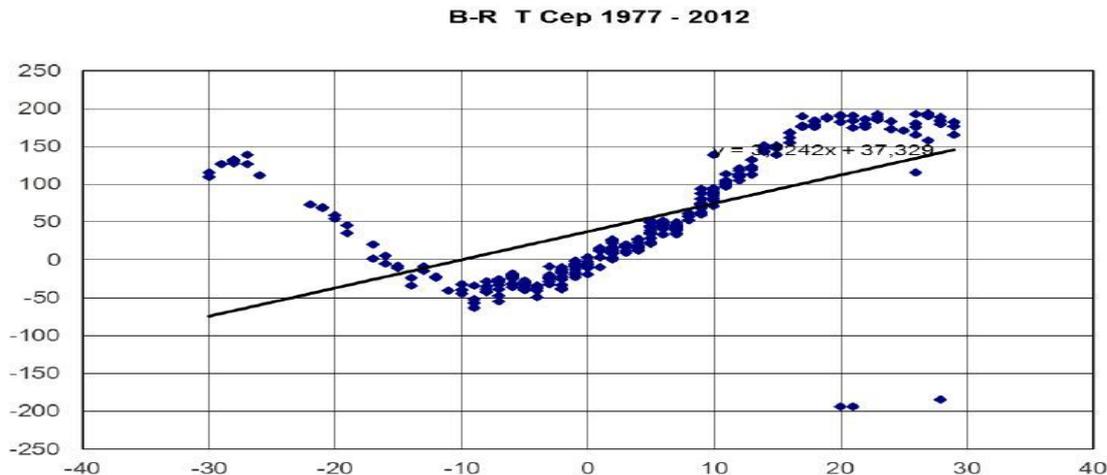
P = 388 Tage

Entfernung: 610 Lj

Frank Vohla hat gewarnt: „Die B-R“ von Mirasternen haben mit Lichtzeiteffekt nichts zu tun.“

Aber ein Mirastern sollte die beiden anderen Typen ergänzen. T Cephei schien wegen seiner schönen sinusförmigen (B-R)-Kurve, also vermuteter Kreisbahn, geeignet.

(B-R)-Kurve von T Cep



Zeigen die sinusähnlichen B-R die mögliche Bahn des Mirasterns um einen 3. Körper an ?

Das überraschende Ergebnis

Die Antwort soll mit Hilfe des 3. Keplerschen Gesetzes erfolgen. In guter Näherung kann man die Rechnung sogar im Kopf machen:

Die B-RK hat eine Periode P von 50 Jahren und eine Amplitude von ± 90 Tagen.

Als Lichtzeiteffekt würden ± 90 Tage einen auf die Himmelsebene projizierten Bahndurchmesser $2R$ von $1/2$ Lichtjahr bedeuten ! Das sollte deutlich messbar sein, ist aber nicht bekannt. Also 1:0 für Frank Vohla.

Aber weiter: Für die Massensumme MS in Sonnenmassen des angenommenen Sternsystems gilt nach Kepler 3

$$MS = R^3/P^2. \quad R \text{ gemessen in AE, } P \text{ in Jahren} \quad (1)$$

$R = 90 \text{ d}$, 1 d hat gerundet $90 \cdot 10^3$ Sekunden, entspricht also einer Distanz von $90 \cdot 2 = 180 \text{ AE}$. Folglich $R = 90 \cdot 180 \text{ AE} = 16200 \text{ AE}$. $R^3 =$ (gerundet) $16 \cdot 16 \cdot 16 \cdot 10^9 = 16 \cdot 256 \cdot 10^9$.

Eingesetzt in Formel (1): $MS = 16 \cdot 256 \cdot 10^9 / 2500$ (und jetzt wird wieder gerundet)
 $MS = 16 \cdot 0,1 \cdot 10^9 = 16 \cdot 10^8$ Sonnenmassen

Da haben wir also einen großen Sternhaufen gefunden den T Cep umrunden sollte und den noch niemand kennt. Ist er ein Schwarzes Loch oder besteht er aus Dunkler Materie weil wir ihn nicht sehen ? Dies Resultat ist das 2:0 für Frank Vohla !

Die B-R von T Cep lassen sich nicht als Lichtzeiteffekt erklären. Statistisch zufällige Änderungen der Pulsationsperiode werden als Ursache der Periodenänderungen von Mirasternen diskutiert.

Literatur:

BAV Einführung 4. Aufl. 2009

LIAKOS A. et al.: A comprehensive study of six Algol type binaries
Arxiv 1404.2790v1

LISKA J et al.: New analysis of the light time effect in TU Ursae Majoris
ArXiv 1502.03331v1

MURPHY S. J. et al.: Finding binaries among KEPLER pulsating stars
From phase modulation of their pulsations, arXiv 1404.5649v1

STRUVE O., LYND S. B. T., PILLANS H.
Astronomie, Einführung in ihre Grundlagen, 3. Aufl. Berlin 1967

TORRES G. et al.: The eclipsing binary V1061 Cygni: Confronting
Stellar evolution models for active and inactive solar-type stars,
ArXiv 0512072v1

VAN BUREN G,: Comment on the three-body theory for period changes in RS CVn systems
AJ 92,1 (1986) 136-138

WADE A: et al.: A timing model for the RR Lyrae variable star TU Ursae Majoris, a probable member of a binary system
AJ 118 (1999) 2442-2450