

# Poprawa sprawozdania 4 - Symulacja krzywej zmiany blasku układu podwójnego kontaktowego.

Patryk Liniewicz

21 stycznia 2021

## 1 Wstęp

Celem ćwiczenia jest wykorzystanie programu W-D do symulacji krzywej zmian blasku układu podwójnego kontaktowego.

Gwiazda podwójna jest zespołem dwóch gwiazd bliskich fizycznie lub optycznie [1]. W pierwszym przypadku gwiazdy rzeczywiście znajdują się blisko siebie i oddziałują grawitacyjnie. Dla odróżnienia nazywa się je bliskimi układami podwójnymi. Oddziaływanie składników układu oznacza, że żaden z nich nie przechodzi przez całość swojej ewolucji niezależnie od drugiego.

Wiele z gwiazd podwójnych bliskich jest układami zaćmieniowymi, z których to będzie interesować nas kategoria układów kontaktowych. Najczęstsze wśród nich są gwiazdy typu W Uma dla późnych typów spektralnych F do K. Kontaktowość definiuje się w ramach modelu Roche'a, który to identyfikuje dwie powierzchnie o środkach w śródkach mas

odpowiadających im składników układu. Częstka próbna znajdująca się wewnątrz przestrzeni okalanej taką powierzchnią należy grawitacyjnie tylko do tej przestrzeni. W końcu układ kontaktowy to taki, w którym oba składniki wypełniają (lub przepełniają) swoje powierzchnie Roche'a. Ten składnik układu, który jest zaćmiewany w fazie 0 przyjęto oznaczać numerem 1. Model Roche'a stosuje się do układu dwu mas punktowych rotujących synchronicznie po orbicie kołowej.

Wprowadzamy wielkość  $q \equiv \frac{m_2}{m_1}$  i z równań keplerowskich wyprowadzamy tzw. *funkcję mas*.

$$f(m) = \frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2} = m_1 \frac{q^3 \sin^3 i}{(1 + q)^2} \quad (1)$$

gdzie  $m_{1,2}$  to masy składników odpowiednio 1 i 2, a  $i$  jest *inklinacją*, tj. kątem nachylenia płaszczyzny układu względem obserwatora.

Definiujemy *fill-out factor* [2]:

$$f = \frac{\Omega - \Omega_{L2}}{\Omega_{L1} - \Omega_{L2}} \quad (2)$$

gdzie  $\Omega$  to potencjał Rocha składnika, natomiast  $\Omega_{L1,2}$  to potencjały w punktach Lagrange’a odpowiednio L1 i L2.

## 2 Dane i metoda

W ćwiczeniu zadano typ spektralny gwiazdy G8V, wartość funkcji mas  $f(m) = 0.13$ , inklinację  $i = 82^\circ$ , fill-out factor 90% oraz wartość strumienia całkowitego w fazie 0.27 równą 1. Ponadto składnik 2 ma być o 300 K chłodniejszy niż pierwszy, a krzywa ma być utworzona dla filtru R.

Przyjmujemy założenie, że gwiazda jest książkowym przykładem typu G8V, tj. nie tyczą się jej żadne anomalie i z publikacji [3] odczytujemy  $m_1 = 0.898M_\odot$ ,  $\log T_1 = 3.728$ .

Znając masę piszemy prosty program w języku obliczeń Julia, który oblicza wartość masy  $m_2$  w jednostkach masy Słońca.

Długość fali wybrano kierując się  $\lambda_{eff}$  dla filtru R [4] w systemie szerokopasmowym (UBVRI Johnson & Cousins) i wprowadzono do programu  $\lambda = 6407 \text{ \AA}$ .

Za pomocą kalkulatora [5] otrzymujemy  $\Omega_{L1} = 3.378$  i  $\Omega_{L2} = 2.940$  podając  $q$ , co wykorzystamy do obliczenia potencjału  $\Omega$  jednego ze składników. Ze względu na zadaną geometrię układu potencjały obu składników gwiazdy podwójnej są sobie równe (tryb 3 programu W-D wymaga to ograniczenie).

Wartość strumienia  $L_1$  zostanie dobrana zgodnie z warunkiem normalizacji strumienia całkowitego.

Mając wszystkie wymagane wielkości wprowadzamy je do zmodyfikowanej wersji programu W-D [6] otrzymanego na pracowni.

## 3 Wyniki działania programu

Do sprawozdania załączono pliki wejściowe i wyjściowe programu.

Względem przykładowego pliku wejściowego otrzymanego na pracowni zmieniono parametry:

- **Pshift** = 0, przesunięcie w fazie jest niepotrzebne
- **Inc1** = 82, inklinacja  $82^\circ$
- **T1** = 0.5346, wartość temperatury uzyskanej z literatury wyrażona w jednostkach programu (1 odpowiada  $10000\text{\AA}$ )
- **T2** = 0.5046, temperatura składnika drugiego o 300 K niższa niż pierwszego, jak zadano
- **Pot1** = 2.9837489, potencjał uzyskany w sposób opisany w sekcji 2
- **M2/M1** = 0.77828, stosunek mas uzyskany z funkcji mas i inklinacji
- **wv lnth** = 0.6407,  $\lambda_{eff}$  z literatury
- **L1** = 6.96588, jasność gwiazdy 1
- **e13** = 0, trzecie światło (jego brak)

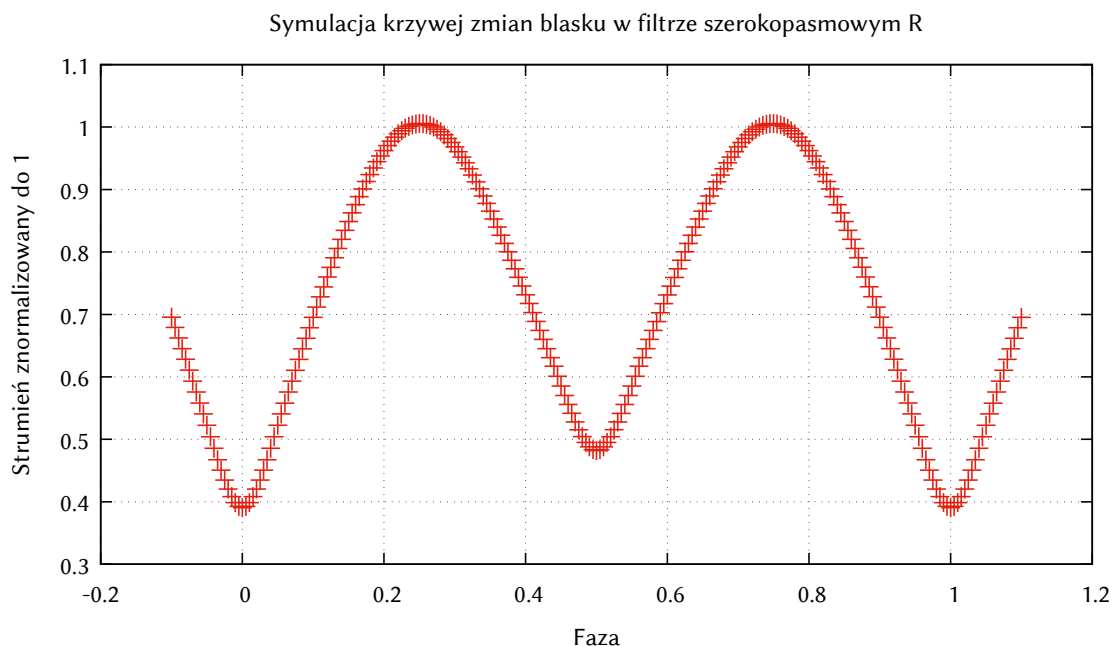
W programie Gnuplot 5.2 utworzono wykres punktów otrzymanych z programu W-D (rys. 1).

## 4 Parametry fizyczne

Znając temperatury i masy obu składników wyznaczymy ich jasności. Następnie z założenia, że wielkość obserwowana  $m_{obs} = 10.5\text{mag}$  wyznaczymy odległość do układu.

Posłużymy się w tym celu wzorami [7]:

$$M = 5 + m_{obs} - 5 \log D \quad (3)$$



Rys. 1: Wygenerowana krzywa zmian blasku

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left( \frac{R}{R_{\odot}} \right)^2 \left( \frac{T}{T_{\odot}} \right)^4 \quad (4)$$

gdzie  $M$  oznacza absolutną wielkość gwiazdową,  $m_{obs}$  obserwowaną wielkość gwiazdową,  $L$  jasność,  $D$  odległość do układu w parsekach,  $Z$  literatury odczytujemy promień typowej gwiazdy G8V [3]. Będzie to promień składnika 1.

Wyznaczone parametry fizyczne obu składników zebrano w tabeli 1. Program W-D na końcu pliku wyjściowego podaje geometrię gwiazd - promień biegunowy, boczny i wsteczny unormowane do jednostek rozdzielania układu. W związku z tym za pomocą proporcji wyznaczymy promień drugiego składnika. Wykorzystamy w tym celu promień boczny podawany przez program.

## Literatura

[1] R. W. Hilditch. *An Introduction to Close Binary Stars*. Cambridge University Press, 2001.

wielkość	gwiazda 1	gwiazda 2
masa	0.898 $M_{\odot}$	0.699 $M_{\odot}$
promień	0.963 $R_{\odot}$	0.871 $R_{\odot}$
jasność	0.679 $L_{\odot}$	0.441 $L_{\odot}$
odległość	144.06 pc	

Tabela 1: Parametry fizyczne gwiazd symulowanego układu podwójnego.

[2] J. Kallrath and E.F. Milone. *Eclipsing Binary Stars: Modeling and Analysis*. Springer, 2009.

[3] Petr Harmanec. Stellar Masses and Radii Based on Modern Binary Data. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 39:329, December 1988.

[4] Michael Bessell. Standard photometric systems. *Aug Annu. Rev. Astron. Astrophys*, 11:293–336, 09 2005.

[5] Denis A. Leahy and Janet C. Leahy. A calculator for Roche lobe properties. *Computational Astrophysics and Cosmology*, 2:4, May 2015.

- [6] Robert E. Wilson, Edward J. Devinney, and Walter Van Hamme. WD: Wilson-Devinney binary star modeling, April 2020.
- [7] E. Rybka. *Astronomia ogólna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1983.