

Modelovanje tesnog dvojnog sistema DM Delphini

Fotometrijskom metodom, posmatranjem u vidljivom delu spektra, dobijena je kriva sjaja pomračujućeg dvojnog sistema DM Del. Analizom krive sjaja određeni su parametri sistema: temperatura zvezda ($T_1 = 8770$ K, $T_2 = 5200$ K) i poluprečnici (0.528 a, 0.293 a), odnos masa (0.259), inklinacija (87.4°) i površinski potencijal (2.377). Na osnovu ovih parametara napravljen je model sistema. Rezultati su u skladu sa ranijim radovima u kojima su određivani parametri tog sistema.

Uvod

Pomračujuće dvojne zvezde su zvezde čiji se ukupan sjaj menja zato što pri rotaciji oko centra mase naizmenično zaklanjaju jedna drugu, gledano sa Zemlje. U slučaju kada su komponente blizu jedna druge, sisteme nazivamo tesnim dvojnim sistemima. Pre svega zbog međusobnog gravitacionog uticaja, komponente su kod njih primetno deformisane i ispunjavaju svoje Rošeeve površi.

Dvojni sistem DM Delphini je tesni dvojni sistem tipa β Lyr. Otkrio ga je Hofmajster 1935. Posmatračke rezultate i krive sjaja prezentovali su Šneler (Schneller 1960), Bertold (Berthold 1978), Ditelm (Diethelm 1980) i Gudur (Gudur 1987). Iščenko (Ishchenko *et al.* 1955) je utvrdio period od ~ 0.845 dana i svrstao zvezdu u spektralnu klasu A3.

Metod

Korišćenjem diferencijalne fotometrije sjaj zvezde poredi se sa izvorom konstantnog sjaja što je u našem slučaju nepromenljiva zvezda. Tako se dobija zavisnost promene sjaja od vremena.

Da bi se precizno odredila promena sjaja, poredbena i kontrolna zvezda moraju da zadovolje određene kriterijume. Pod kriterijumima se podrazumeva da budu približno iste magnitude, da bi preciznost određivanja magnitude bila maksimalna. Razlika u spektralnim klasama ne bi

*Nemanja Vojvodić
(1989), Beograd,
Orahova 29, učenik 4.
razreda Škole
Tehnoart u Beogradu*

*Danijela Marković
(1990), Beograd,
Jevrejska 13, učenica
3. razreda Prve
beogradske gimnazije*

*MENTOR:
Igor Smolić, ISP*

trebala biti veća od jedne, da bi smanjili sistematske greške prouzrokovane selektivnom atmosferskom ekstinkcijom. Poredbena zvezda mora biti i konstantnog sjaja što se proverava poređenjem sa kontrolnom zvezdom.

Za uporednu zvezdu izabrana je zvezda TYC 1100-69-1 spektralne klase F2 i prividne magnitude $V = 9.10$, kolor indeksa $B-V = 0.486$. Za kontrolnu zvezdu izabrana je TYC 1100-733-1 spektralne klase G2, prividne magnitude $V = 9.97$, kolor indeksa $B-V = 0.642$.

Sistem je posmatran tokom pet noći avgusta 2008. godine iz Istraživačke stanice Petnica. Za snimanje je korišćen teleskop Meade 178ED prečnika 178 mm, žižne daljine 1600 mm i CCD kamera SBIG-8. Vreme ekspozicije za pojedinačni snimak iznosilo je 20 s. Nisu korišćeni filteri. Dobijeno je ukupno 1791 *light frame* snimaka, tj. snimaka dela neba u kome su se nalazili objekti od značaja. Snimljeni su i *dark frame* i *flat field*, koji su potrebni za korekciju *light frame* snimaka. *Dark frame* je iskorišćen za eliminaciju parazitskog signala uzrokovanog termalnom emisijom elektrona u CCD kameri za vreme ekspozicije, dok je *flat field* snimak iskorišćen za korekciju osetljivosti pojedinačnih piksela.

Obrada snimaka urađena je u programu AstroArt. Fotometrijska merenja izvršena su u programu Maxim DL, u kojem je procenjena promena sjaja posmatrane zvezde u odnosu na poredbenu zvezdu.

Zbog uticaja selektivne atmosferske ekstinkcije, podaci koji su snimljeni kada se zvezda nalazila na manje od 30° iznad horizonta nisu smatrani za adekvatne i nisu dalje korišćeni u obradi.

Da bi se celokupno snimanje svelo na jedan period, tj. da bi se dobila kriva sjaja, vreme je svedeno na fazu. Za svodenje na fazu potrebno je prvo pretvoriti vreme izraženo u julijanskim danima (JD) u heliocentrične julijanske dane (HJD). Prilikom Zemljine revolucije menja se razdaljina između Zemlje i zvezde, pa se menja i vreme koje je potrebno svetlosti da pređe taj put. Ovaj efekat se može izbeći prelaskom na heliocentrične julijanske dane, merenje vremena u koordinatnom sistemu sa centrom u Suncu, heliocentru.

Da bi trenutak primarnog minimuma na grafiku odgovarao fazi od 0.0 što zahteva dalje korišćeni softver, određena je faza na kojoj se tada nalazio primarni minimum i oduzeta je od postojeće faze. Trenutak minimuma određen je u programu AVE koji koristi *Kwee-van Woerden* algoritam. Snimljena su dva primarna minimuma.

$$2454685.5482 \pm 0.0002 \text{ HJD} \quad (1)$$

$$2454691.4655 \pm 0.0002 \text{ HJD} \quad (2)$$

Heliocentrični julijanski dan navedena dva minimuma sveden je na fazu korišćenjem efemeride za trenutke primarnih minimuma i u daljem računu korišćena je njihova srednja vrednost.

$$\text{Min } I = \text{HJD } 2454062.1749 + 0.8446725 E.$$

Intenziteti su izračunati na osnovu magnituda korišćenjem Pogsonovog obrasca:

$$I = 10^{-0.4(m-M)}$$

gde je: I – intenzitet, m – magnituda, M – magnituda u maksimumu sjaja.

Magnituda u maksimumu sjaja dobijena je usrednjavanjem magnituda koje se nalaze u intervalima faza od 0.24 do 0.26 i 0.74 do 0.76.

Modelovanje parametara tesnog dvojnog sistema urađeno je u programu Binary Maker. Izgled krive sjaja zavisi od temperatura, prečnika, odnosa masa, efektivne talasne dužine na kojoj je izvršeno posmatranje, inklinacije, gravitacionih koeficijenata posvetljenja, koeficijenta refleksije i koeficijenta potamnjenja ka rubu diska. Gravitacioni koeficijenti posvetljenja su, kao i koeficijenti refleksije, konstante za zvezde sa radijativnom i konvektivnom fotosferom. Radijativnu fotosferu imaju zvezde sa temperaturom većom od 7000 K (Gray 1976).

Temperatura primarne zvezde, procenjena na osnovu spektralne klase, uzeta je za fiksnu i korišćena je kao poznata vrednost. U nedostatku posmatračkih podataka tokom sekundarnog minimuma temperatura sekundarne zvezde preuzeta je iz literature (Gudur *et al.* 1987). Pored temperature, fiksirana je i efektivna talasna dužina posmatranja. Inklinacija je preuzeta iz ranijih radova (Gudur *et al.* 1987).

Kao rezultati obrade u programu Binary Maker dobijeni su odnos masa, površinski potencijali, kao i prečnici zvezda u zavisnosti od dužine velike poluose.

Rezultati

Korišćenjem programa Binary Maker, gde su kao ulazni podaci korišćeni intenziteti i faze, a kao fiksni temperature, koeficijenti potamnjenja ka rubu diska i koeficijenti refleksije, dobijena je sintetička kriva sjaja koja je prikazana na slici 1. Odnos masa i prečnici su varirani.

Tačkama su označeni podaci dobijeni posmatranjem, a punom linijom označena je sintetička kriva sjaja. Vrednosti parametara ove krive su sledeći:

T_1 : 8770 K

T_2 : 5200 ± 500 K

Talasna dužina: 660 nm

Odnos masa: 0.259

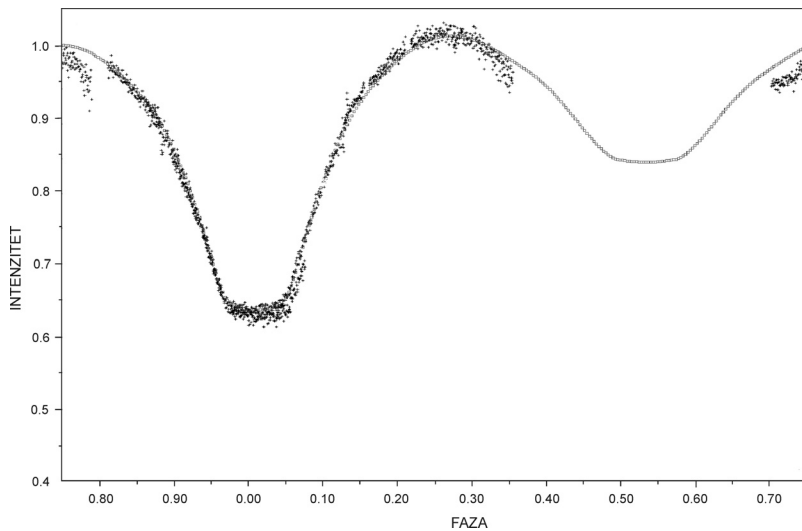
Površinski potencijal 1: 2.377

Površinski potencijal 2: 2.377

R_1 : 0.528 a

R_2 : 0.293 a

Inklinacija: 87.4°



Slika 1.
 Sintetička kriva sjaja

Figure 1.
 Synthetic light curve

- g_1 : 1.0
- g_2 : 0.32
- x_1 : 0.48
- x_2 : 0.71
- A_1 : 1.0
- A_2 : 0.5

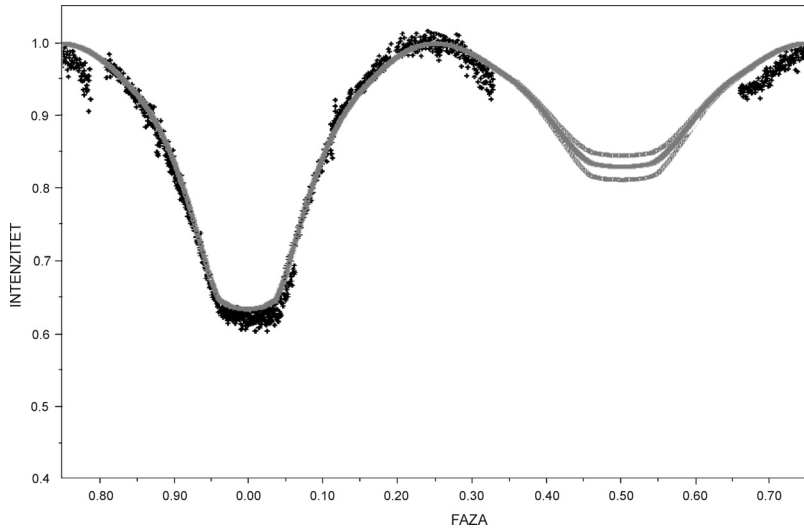
gde je a – velika poluosa orbite sistema.

Zbog nedostatka posmatračkih podataka tokom sekundarnog minimuma, nije moguće odrediti temeperaturu sekundarne komponente već samo dati gornju granicu koja iznosi ~ 5700 K. Donju granicu nije moguće odrediti, jer usled znatno manje temperature od temperature primara njegov sjaj ima mali udeo u ukupnom sjaju sistema.

Na slici 2 takođe se može primetiti da je kriva sjaja asimetrična. Takođe je prisutan i O'Konelov efekat, pojava da magnitude u dva maksimuma krive sjaja nisu jednake, koja je zastupljena isključivo kod kratkoperiodičnih starih tesnih sistema (Liu 1999). Ove dve pojave ukazuju na postojanje jedne ili više tamnih pega u sistemu. Pege se u tesnim dvojnim sistemima uglavnom javljaju na polovima i imaju jako velike površine, za razliku od zvezdi tipa Sunca kod kojih je ova pojava izražena u blizini ekvatora (Zboril 2007).

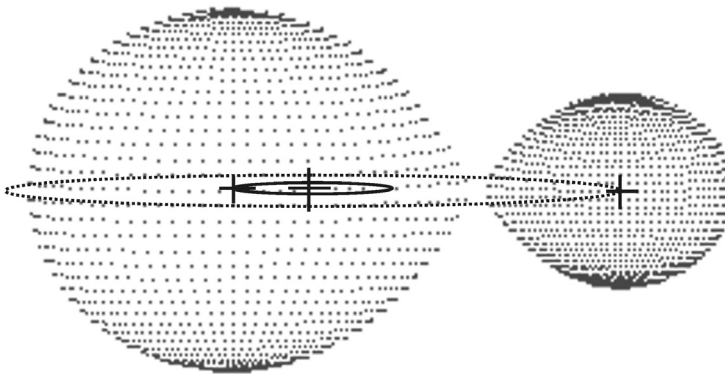
Postoji značajna razlika u temperaturama komponenti što implicira da sistem nije kontaktni. Zvezde ne ispunjavaju u potpunosti svoje Rošeeve površi kao što se može videti na slici 3.

Na slici 3 je prikazan 3D model sistema, gde se u perspektivi vide kružne putanje zvezda oko centra mase. Na ovoj slici se takođe vidi da sistem nije kontaktni.



Slika 2.
Izgled krive sjaja u zavisnosti od promene temperature sekundara. Linije odozgo na dole odgovaraju temperaturama sekundara od 4700 K, 5200 K i 5700 K.

Figure 2.
Light curve dependence of the temperature change of the secondary star. Lines from top: 4700 K, 5200 K and 5700 K.



Slika 3.
3D model tesnog dvojnog sistema DM Del

Figure 3.
3D model of eclipsing binary DM Del

Diskusija i zaključak

Temperatura sekundara se ne može odrediti usled nedostataka posmatračkih podataka tokom sekundarnog minimuma. Moguće je samo odrediti gornju granicu (5700 K) na osnovu dubine primarnog minimuma, dok se donja granica ne može odrediti. Velika temperaturna razlika između komponenti potvrđuje to da sistem nije kontaktni, a što je u skladu i sa rezultatima iz prethodnih radova (Manimanis 2007). Odnos masa određen je iz krive sjaja i slaže se sa rezultatima iz rada (Gudur *et al.* 1987), a mogao bi biti preciznije određen metodom radijalnih brzina (Đurašević 1996). Asimetrija krive sjaja i prisustvo O'Konelovog efekta ukazuju na postojanje pega u sistemu.

Nova multikolor fotometrijska merenja omogućila bi donošenje većeg broja zaključaka o temperaturi sekundara i položaju, veličini i temperaturi pege ili eventualno pega u sistemu.

Literatura

- Berthold T. 1978. *Commision 27 of the IAU – Information Bulletin on variable stars*, 1521
- Diethelm R. 1980. *Commision 27 of the IAU – Information Bulletin on variable stars*, 1822
- Claret. A., Diaz-Kordovez. J., Gimenez. A. 2003. Linear and non-linear limb-darkening coefficients for the photometric bands R I J H K. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, **114**: 247
- Gray D. F. 1976. *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres*. Cambridge University Press.
- Đurašević G. 1996. An analysis of close binaries based on photometric measurements. *Astrophysics and Space Science*, **208**: 85.
- Güdürlü N., Sezer C., Gülmén U. 1987. A photometric study of DM Delphini. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, **67**: 87.
- Ishchenko H. M, Leubovich M. E 1955. The eclipsing stars V609 Aql and DM Del. *Perem. Zvezdy*, **10**: 403
- Jerzy M. Kreiner, An atlas of O-C diagrams of eclipsing binary stars. Krakow:Wydawnictwo Naukowe AP.
- Liu. Q. 1999. About the O'Connell Effect of a Close Binary. U *Observational Astrophysics in Asia and its Future, 4th East Asian Meeting on Astronomy, 3-10 Feb., 1999 in Kunming, China*. (ed. P. S. Chen). Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, str. 377
- Manimanis. V. 2004. UVB Photometric Study of the Eclipsing Binary DM Delphini. *Astrophysics and Space Science*, **282**: 411.
- Schneller H. 1960. Lichtelektrische Beobachtungen und Systemkonstanten des Bedeckungsveränderlichen DM Delphini. *Mitteilungen des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam*, **88**: 265
- Samokhvalov. A. 2007. New CCD minima of DM Del. *Peremennye zvezdy*, **7** (9). Dostupna na (20. 10. 2008): www.astronet.ru/db/varstars/msg/eid/PZP-07-0009
- Zboril M. 2007. Monitoring active stars 29 Dra, 12 Cam and colour excess of II Peg. *Serb. Astron. J.*, **175**: 51.

Nemanja Vojvodić and Danijela Marković

Model of Eclipsing Binary Star DM Delphini

In this paper we present photometric observations of eclipsing binary star DM Del of spectral type A3. The star was observed in visual light spectrum. The light curve is presented. It was used to determine some of the basic parameters of the system including temperatures ($T_1 = 8770$ K, $T_2 = 5200$ K), radii in units of separation of components (0.528, 0.293), surface potentials (2.377), mass ratio (0.259) and inclination (87.4°). Some of them were kept fixed for modeling of the light curve. The obtained model is near-contact and these results match those from previous papers. The asymmetry of a light curve and presence of O'Connell effect implies the existence of a cool spot on the surface of the secondary.

