

Određivanje parametara tesnog dvojnog sistema OO Aquilae

Fotometrijskom metodom, posmatranjem u V i R filteru, dobijene su krive sjaja pomračujućeg dvojnog sistema OO Aql. Analizom krive sjaja određeni su parametri sistema: temperatura zvezda ($T_1 = 5700$ K, $T_2 = 5510$ K), poluprečnici zvezda (1.34 i $1.25 R_{Sun}$), mase zvezda (0.99 i $0.84 M_{Sun}$), inklinacija (88°) i velika poluosa orbite ($3.26 R_{Sun}$). Primećene su i dve svetle pege: jedna na primarnoj komponenti u „vratnom” regionu ($T_{p1}/T_1 = 1.6$), a druga na sekundarnoj komponenti ($T_{p2}/T_2 = 1.14$). Rezultati su u skladu sa prethodnim radovima.

Uvod

Tesni dvojni sistemi su dvojne zvezde koje se nalaze veoma blizu jedna drugoj i zbog toga imaju veliku ugaonu brzinu, velike centrifugalne sile i jaka međusobna gravitaciona dejstva, te se njihov oblik prilagođava gravitacionom polju u cilju postizanja minimalne energije. Jako su bitni za proučavanje, jer imaju drugačiju evoluciju od zvezda koje se ne nalaze u takvim sistemima i predstavljaju prirodnu laboratoriju za ispitivanje relativističkih efekata. Zbog velike blizine kod nekih tesnih dvojnih sistema postoji protok materije sa jedne komponente na drugu preko Lagranževe tačke L1 i takvi sistemi se nazivaju kontaktnim. U nekim slučajevima masa akceptora, komponente koja prima materiju, prelazi Čandrasekarovu granicu i takva komponenta postaje neutronska zvezda.

Dvojni sistem OO Aquillae je tesni dvojni sistem tipa W UMa. Sastoji se od dve zvezde slične Suncu. Hoffleit je uočio promenljivost sjaja ovog sistema 1932. godine. Posmatračke rezultate i krive sjaja prezentovali su Binnendijk (1968), Lafta i Grainger (1985) i Essam i saradnici (1992). Spektralna klasa ovog sistema je G5V (Roman 1956). Kratak period ove zvezde (0.507 dana), prividna magnituda u maksimumu 9.2 i relativno duboki minimumi ($\sim 1^m$) čine ovaj sistem pogodnim za posmatranje i malim teleskopom.

Zbog stalnog protoka i česte pojave oticanja materije u ovakvim sistemima dolazi da promenljivog momenta impulsa što vodi promenljivo

Stefan Anđelković (1992), Mladenovac, Save Šumanovića 5, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu

Gorana Vranješ (1992), Novi Sad, Seljačkih buna 75/141, učenica 3. razreda Gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj” u Novom Sadu

*MENTOR:
Ivan Milić, IS Petnica*

periodu, pa je potrebno stalno obavljati merenja. U ovom radu je vršeno je merenje trenutnog perioda i određivanje krive sjaja, kao i postavljanje modela koji odgovara novim podacima.

Metod

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

Da bi se precizno odredila promena sjaja, poredbena i kontrolna zvezda treba da budu približno iste magnitude kao promenljiva, u cilju postizanja što veće preciznosti u određivanju magnitude. Razlika u spektralnim klasama ne bi 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 GSC 01058-00689 spektralne klase K0 i prividne magnitude $V = 9.754$, kolor indeksa $B - V = 1.121$.

Sistem je posmatran tokom četiri noći u avgustu 2010. 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 45 s. Korišćeni su filteri Johnson V (552 nm) i R (658 nm). Snimljeno je ukupno 680 light frame snimaka i oni su obrađeni standardnom procedurom.

Obrada snimaka i fotometrijska merenja su izvršeni u programu Maxim DL, gde je određena magnituda promenljive za svaki snimak.

Da bi se celokupno snimanje svelo na jedan period tj. da bi se dobila kriva sjaja, vreme je svedeno na fazu. Faza predstavlja udeo proteklog vremena od poslednjeg primarnog minimuma u jednom periodu. Za svođenje na fazu potrebno je prvo izraziti vreme izraženo u julijanskim danima (JD) u heliocentrične julijanske dane (HJD). Prilikom Zemljine revolucije, rastojanje između Zemlje i zvezde se menja, a sa njim i vreme potrebno svetlosti da pređe taj put. Ovaj efekat se izbegava prelaskom na heliocentrične julijanske dane, merenje vremena u koordinatnom sistemu sa centrom u Suncu, heliocentru.

Radi utvrđivanja perioda potrebno je odrediti trenutke minimuma. Za to je korišćena Kwee-van Woerden metoda koja se zasniva na traženju minimuma sume kvadrata razlika magnituda u parovima tačaka simetričnim u odnosu na minimum. Ova metoda je predviđena je za simetrične minimume, što ovde nije slučaj, ali daje dovoljno preciznu vrednost.

Određivanje parametara tesnog dvojnog sistema je urađeno softverom dr Gojka Đuraševića koji predstavlja unapređenje koda koji su predložili Wilson i Devinney (1971). Izgled krive sjaja zavisi od temperatura, polu-

prečnika, odnosa masa, efektivne talasne dužine na kojoj je izvršeno posmatranje, inklinacije, gravitacionih koeficijenata posvetljenja, albeda i koeficijenata potamnjenja ka rubu diska. Zato se parametri određuju rešavanjem inverznog problema, tj, formiranjem sintetičke krive sjaja koja predstavlja odgovarajući fit za posmatračke podatke (u oba filtera). Površine zvezda se dele na elementarne ćelije koje se karakterišu polarnim koordinatama u odnosu na centar komponente kojoj pripadaju, ugaonom veličinom posmatrano iz istog centra, temperaturom i albedom. Sumiranjem fluksa koji daju nepomračene ćelije u datoj fazi formira se sintetička kriva sjaja.

Pretpostavljeni koeficijenti gravitacionog posvetljenja (β_1 i β_2) su 0.08, a albeda 0.5, što karakteriše zvezde ove spektralne klase. Te vrednosti su fiksirane. Pored albeda i koeficijenata gravitacionog posvetljenja fiksirani ulazni parametri su i koeficijent sinhronizovanosti rotacije, temperatura primara (Đurašević i Erkapić 1998) i odnos masa (Hrivnak 1989).

Rezultati i diskusija

Snimljena su dva primarna minimuma.

$$2455426.4830 \pm 0.0006 \text{ HJD} \quad (1)$$

$$2455430.5390 \pm 0.0003 \text{ HJD} \quad (2)$$

Između ova dva minimuma je proteklo osam epoha pa se period određuje deljenjem proteklog vremenskog intervala sa osam:

$$P = (0.5070 \pm 0.0002) \text{ dana} \quad (3)$$

Demirçan i Gürol (1996) predlažu period $(0.5067888 \pm 0.0000003)$ dana i tendenciju opadanja perioda što se ne slaže sa dobijenim rezultatom. Međutim, minimum (1) nije dovoljno dobro definisan, pa je verovatno to izvor neslaganja. Kako su rezultati u R filteru bili precizniji (slika 1) adekvatniji rezultat bi se dobio koristeći minimume određene u R filteru, ali je zbog nedostatka pouzdanih podataka to bilo neizvodljivo.

Rešavanjem inverznog problema dobijeni su temperatura sekundara (T_2), mase (M_1 i M_2), površinski potencijali, poluprečnici zvezda (R_1 i R_2), inklinacija (i), velika poluosa orbite (a_{orb}), gravitaciona ubrzanja na njima (g_1 i g_2) i apsolutne bolometrijske zvezdane veličine (M_1 i M_2).

U prvoj iteraciji odnos masa je preuzet iz rada Hrivnak (1989), koji proučava ovaj sistem putem spektroskopijskog posmatranja i fiksiran (0.843), a zatim je menjan u cilju postizanja optimalnijeg i preciznijeg rešenja dok nije dobijena konačna vrednost (0.846).

Razlike u kolor indeksu se mogu protumačiti kao posledica pega na površini zvezda i daju informaciju o njima. Tako je određeno prisustvo dve svetle pege u okolini vratnog regiona, njihove dimenzije (θ_{bs1} i θ_{bs2}) i

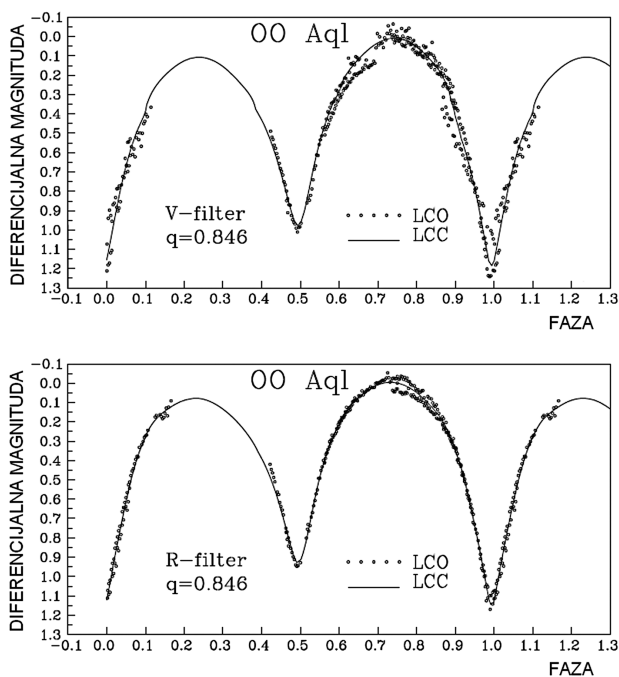
temperature (T_{bs1} i T_{bs2}). Pretpostavlja se kružni oblik pege. Elementarne ćelije obuhvaćene pegom imaju temperaturu pege, za razliku od ostatka površine zvezde.

Pretpostavljena vrednost ekscentričnosti je 0, a koeficijent sinhronizacije rotacije 1. Koeficijent sinhronizacije rotacije je bezdimenziona veličina koja karakteriše odnos perioda rotacije i revolucije zvezde u dvojnog sistema. Najčešće su rotacija i revolucija potpuno sinhronizovane i tada koeficijent sinhronizacije iznosi 1. Parametri sistema OO Aql dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri sistema

T_1 [K]	5700
T_2 [K]	5510 ± 20
M_1 [M_{Sun}]	0.99 ± 0.03
M_2 [M_{Sun}]	0.84 ± 0.03
Površinski potencijal 1	3.4064
Površinski potencijal 2	3.4064
R_1 [R_{Sun}]	1.34 ± 0.03
R_2 [R_{Sun}]	1.25 ± 0.03
i	$88.0 \pm 1.5^\circ$
a_{orb} [R_{Sun}]	3.26 ± 0.02
$\log g_1$	4.18 ± 0.02
$\log g_2$	4.17 ± 0.02
M_{bol1}	4.2 ± 0.1
M_{bol2}	4.5 ± 0.1
T_{bs1}/T_1	1.6 ± 0.1
θ_{bs1}	15.4 ± 0.3
λ_{bs1}	358.2 ± 0.5
φ_{bs1}	-0.1 ± 1.1
T_{bs2}/T_2	1.14 ± 0.01
θ_{bs2}	28.6 ± 1.3
λ_{bs2}	211.0 ± 4.9
φ_{bs2}	-16 ± 5.1
A_1	0.5
A_2	0.5
β_1	0.08
β_2	0.08

U tabeli 1 λ_{bs1} i λ_{bs2} predstavljaju longitude pega na njihovim matičnim zvezdama, a φ_{bs1} i φ_{bs2} latitute.

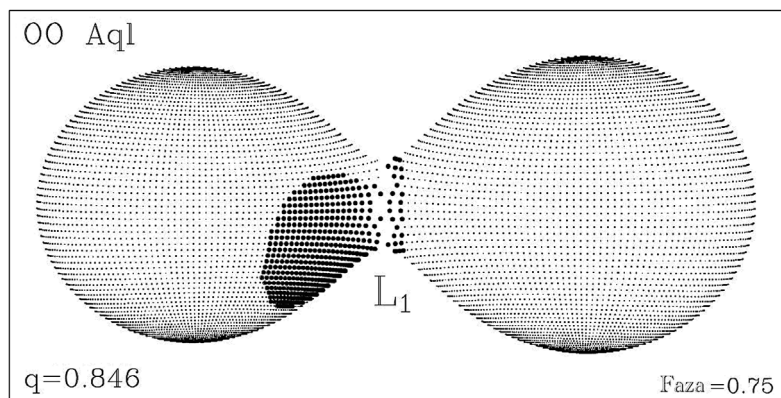


Slika 1.
Izgled krive sjaja u
V, odnosno R filteru

Figure 1.
Light curve in V and
R filter

Dobijeni rezultati potvrđuju hipotezu da je reč o sistemu koji čine dve zvezde slične Suncu (sličnih masa, temperatura, poluprečnika). Ovi rezultati predstavljaju najverovatniji model koji odgovara ovim podacima, ali ne i jedini mogući. Postojanje više odgovarajućih modela posledica je nedostatka snimaka u vreme prvog maksimuma, ali i nepreciznosti, pretežno u V filteru.

Na slici 2 je prikazan 3D model sistema, gde se vide zvezda u elongaciji i vratni region sa pegama. Obe komponente ispunjavaju svoje Rošeove ovale. Ostvaruje se kontakt i van Lagranževe tačke L1 u njenoj okolini (eng. overcontact).



Slika 2.
3D model tesnog
dvojnog sistema
OO Aql

Figure 2.
3D model of close
binary OO Aql

Temperaturna razlika između primara i sekundara ne govori u prilog teoriji da je sistem kontaktni, što je verovatno posledica nepreciznosti merenja. Međutim, to ne mora nužno da narušava konzistentnost modela budući da razlika nije velika (~200 K) i da se u ovakvom sistemu može očekivati neravnomerna raspodela temperature po površima komponenti.

Zaključak

Ovaj rad je potvrdio rezultate prethodnih radova koji su se bavili ovim sistemom, kako određivanjem perioda, tako analizom krive sjaja. Međutim, postavlja se pitanje da li period zaista opada, kako su predvideli Demirčan i Gürol, ili je počeo da raste, kako govore ova merenja.

Aktivnost ovog sistema je evidentna, jer je uočljiva asimetrija krivih sjaja. Dobijeni model sadrži dve tople regije u vratnom regionu što otvara mogućnost postojanja razmene termalne energije među komponentama.

Zbog nedostatka merenja u intervalu faza 0.15-0.40 nije moguće jednoznačno odrediti parametre ovog sistema. Rezultati predstavljeni u ovom radu predstavljaju jednu od mogućnosti koja predstavlja kompromis između merenja i drugih radova. Uz pokrivenost celih krivih sjaja bi se moglo bolje suditi o aktivnosti ovog sistema. Nova multikolor fotometrijska merenja omogućila bi donošenje većeg broja zaključaka o pegama u ovom sistemu.

Zahvalnost. Autori se zahvaljuju Ivanu Miliću, Nikoli Božiću, Nemanji Vojvodiću, Petru Kostiću, Nikoli Đorđeviću i Bojanu Kološnjajiju (IS Petnica) na odvojenom vremenu, strpljenju, savetima, ispravkama, smernicama i podršci tokom rada na projektu, i ponajviše dr Gojku Đuraševiću koji je bio ljubazan da nas uputi u sam proces analize krivih sjaja tesnih dvojnih sistema i obradio naše podatke svojim softverom.

Literatura

- Binnendijk L. 1968. The light variation and orbital elements of OO Aquilae. *Astronomical Journal*, **73**: 32.
- Demirčan O., Gürol B. 1996. Light curves and period changes of OO Aql. *Astronomy and astrophysics supplement series*, **115**: 333.
- Đurašević G. 1996. An analysis of close binaries based on photometric measurements. *Astrophysics and Space Science*, **208**: 85.
- Đurašević G. 1997. An analysis of the light curves of the variable star OO Aql. *I. A. P. P. Communications*, **67**: 41.
- Đurašević G., Erkapic S. 1998. A Photometric Study of the Active Eclipsing System OO Aql. *Proceedings of the 20th Stellar Conference of the Czech and Slovak Astronomical Institutes*, str. 70-75.

- Essam A., El-Bassuni A. A., Mahdy H. A. 1992. Light variation of the variable star OO Aquilae. *Astrophysics and Space Science*, **188** (1): 127.
- Hrivnak B. J. 1989. Radial velocity studies and absolute parameters of contact binaries. II OO Aquilae. *Astrophysical Journal*, Part 1, **340**: 458.
- Hrivnak B. J., Guinan E. F., DeWarf L. E., Ribas I. 2001. An Ultraviolet Study of the Short-period Binary OO Aquillae. *The Astronomical Journal*, **121**: 1084.
- Kreiner J. M. 2001. *An atlas of O-C diagrams of eclipsing binary stars*. Krakow: Wydawnictwo Naukowe AP
- Kwee K. K., van Woerden H. 1956. A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable. *Bulletin of the astronomical institutes of the Netherlands*, **XII** (464): 330.
- Lafta S. J., Grainger J. F. 1985, New photoelectric observations of four W UMA systems – OO Aql, V839 Oph, V566 Oph, and SW Lac. *Astrophysics and Space Science*, **114** (1): 23-118.
- Mochnacki S. W. 1981, Contact binary stars. *Astrophysical Journal*, Part 1, **245**: 650.
- Roman, N. G 1956. Spectral Types of Some Eclipsing Binaries. *Astrophysical Journal*, **123**: 246.
- Wilson R. E., Devinney E. J. 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *The Astrophysical Journal*, **166**: 605.

Stefan Anđelković and Gorana Vranješ

Determination of Close Binary Star OO Aquilae Parameters

This paper presents new light curves of eclipsing binary star OO in V and R filter. The system was observed during 4 nights in August 2010. The moments of minima are obtained using Kwee-van Woerden. The period ($P = 0.50700$ days) is obtained by the minima. Parameters of the system are determined from light curves analysis by solving the inverse problem: temperatures ($T_1 = 5700$ K, $T_2 = 5510$ K), radii ($1.34 R_{\text{Sun}}$, $1.25 R_{\text{Sun}}$), masses ($0.99 M_{\text{Sun}}$, $0.84 M_{\text{Sun}}$), inclination (88°) and semi-major axis ($3.26 R_{\text{Sun}}$). Two active regions have been noticed: one on the primary component in the “neck” region ($T_{p1}/T_1 = 1.6$), and the other one on the second component ($T_{p2}/T_2 = 1.14$). Parameters of the spots are determined as a result of comparing the light curves. Their positions indicate possible thermal energy transfer. The results match those from previous papers concerning these system parameters.

