
Sava Jevtić

DSLR fotometrija promenljive zvezde V2455 Cyg

Cilj ovog rada je posmatranje promenljive zvezde DSLR fotoaparatom, a potom dobijanje krive sjaja te zvezde i određivanje perioda promene sjaja. Za posmatranje su korišćeni DSLR fotoaparati Canon EOS 600D i teleskop MEADE LXD75 6" Newton f/5. Izbor zvezda je bio uzak zbog ograničenja opreme i svetlosnog zagađenja, pa je odabrana V2455 Cyg, promenljiva tipa δ Scuti. Period pulsacije je dobijen Lomb-Scargle periodogramom. Na osnovu toga dobijen je period $(2.2 \pm 0.5)h$, što je približno vrednosti $2.26h$, dobijenoj u ranijim posmatranjima.

Uvod

Promenljive zvezde su one zvezde čija se prividna magnituda menja s vremenom. Delta Scuti zvezde, koje su tema ovog rada, su zvezde sa prosečnom promenom sjaja manjom od 1 magnitude (web 1). Pulsacija kod ovog tipa promenljivih izazvana je time što je narušena hidrostatička ravnoteža, zbog čega se zvezda periodično širi i sažima. Ove oscilacije bi se vremenom prigušile, ali postoji mehanizam koji ih podržava. Najšire prihvaćena teorija je mehanizam ventila (Vukićević-Karabin i Atanacković 2010).

Zvezda je birana da bude vidljiva u dovoljno velikom vremenskom intervalu, da je dovoljno velikog sjaja i ima dovoljno veliku amplitudu sjaja. Na osnovu toga izabrana je V2455 Cyg. To je zvezda čija se magnituda menja od 8.53 do 8.97 u Johnson-Morgan V filteru. Period je, prema ranijim merenjima, približno 2.26 sati (Wils

et al. 2003). Za posmatranje je korišćen teleskop MEADE LXD75 6" Newton f/5 i DSLR fotoaparati Canon EOS 600D, koji ima CMOS čip.

Rad obuhvata posmatranje zvezde DSLR fotoaparatom, dobijanje krive sjaja diferencijalnom fotometrijom, kao i određivanje njenog perioda pulsacije. Ova procedura se obično radi korišćenjem CCD kamere, a ne DSLR fotoaparatom. Budući da su DSLR fotoaparati jeftiniji, dostupniji i lakši za korišćenje, suština ovog rada je da se ispita da li je izvodljivo i koliko je precizno fotometrijom pomoću DSLR fotoaparata dobiti period krive sjaja.

Razlika između CCD i DSLR detektora

DSLR fotoaparati zahteva drugačiju proceduru obrade snimaka nego CCD. DSLR fotoaparati koriste CMOS detektore, koji detektuju manje svetlosti nego CCD detektori. Zbog toga snimci imaju manju količinu svetlosti po pikselu, čime se smanjuje preciznost fotometrije. Još jedna važna razlika je što DSLR fotoaparati u isto vreme snimaju sliku u plavoj, crvenoj i zelenoj boji, koristeći Bajerov filter, koji se sastoji iz mreže crvenih, zelenih i plavih filtera. CCD kamere nemaju filtere same po sebi, ali se u CCD fotometriji uglavnom koriste filteri iz Johnson-Morgan sistema. Za razliku od Bajerovog filtera, Johnson-Morgan filteri su monohromatski i kod njih se ceo snimak pravi u jednoj boji. U njih spadaju R, V, i B filteri, koji propuštaju sličan, ali ne isti, spektar kao različiti delovi Bajerovog filtera. U DSLR fotometriji je praksa da se crveni, plavi i zeleni kanali, koriste kao zamena za R, B odnosno V filtere, respektivno (Kloppenborg i Henden 2016).

Sava Jevtić (2000), Novi Beograd, Studentska 1/49, učenik 2. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu

MENTOR: Lazar Živadinović, student Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Bitno je pomenuti da podatke uzimamo sa DSLR fotoaparata u *raw* (eng. sirov, neobrađen) formatu. Raw sadrži samo vrednosti piksela dobijenih na CMOS detektoru, za razliku od bitmap formata koji vrši interpolaciju između piksela i JPEG format koji interpolira vrednosti piksela i kompresuje podatke. Raw format koristimo zato što su nam potrebni podaci koji nisu ni na koji način obrađeni.

DSLR fotometrija

Kako bi se dobila kriva sjaja, potrebno je snimke obraditi tako da budu pogodni za analizu promene sjaja. U ovu obradu spadaju binovanje, izdvajanje kanala, kao i kalibracija.

Snimci sa DSLR fotoaparata su prvo binovani. Proces binovanja podrazumeva da se intenziteti na određenom broju piksela usrednje i računaju kao jedan piksel. U našem slučaju, to je bilo 9 piksela (3 po širini i 3 po dužini). Ovaj postupak ima svoje prednosti i mane. Mane se uglavnom odnose na raspodelu sjaja lika zvezde na čipu: lik zvezde zauzima više od jednog piksela i intenzitet piksela nije svuda isti. Budući da posmatramo ukupan sjaj zvezde, to nije od suštinske važnosti. Prednosti binovanja su povećana osetljivost na signal i manja širina na polovini maksimuma (FWHM) raspodele sjaja lika zvezde (web 2). Obe posledice binovanja čine fotometriju preciznijom i zbog toga su snimci binovani.

Iz DSLR snimaka je izdvojen zeleni kanal, jer je najpribližniji V filteru kod CCD-a. Kako bi fotometrija bila preciznija, izvršena je kalibracija snimaka, zbog čega su, pored snimaka zvezde (*light frames*), snimani i kalibracioni snimci (*bias frames*, *dark frames*, *flat fields*).

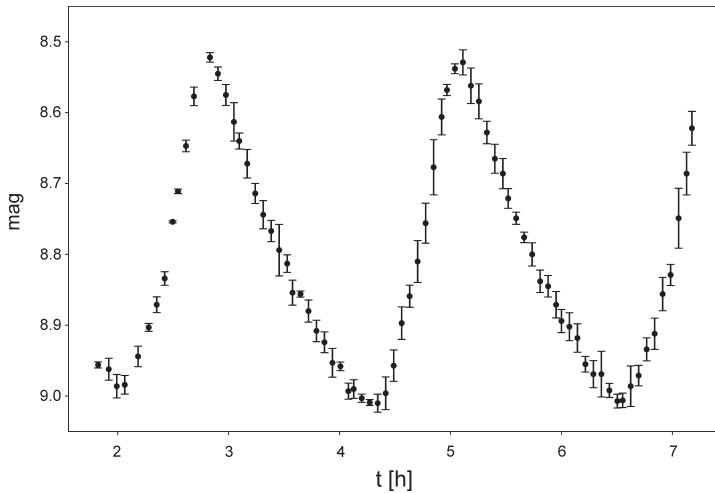
Bias kalibracioni snimci predstavljaju nulti nivo CMOS čipa koji je izazvan intrinzičnim naelektrisanjem na samom čipu, a ne spoljašnjim faktorima. Kao prvi korak kalibracije, bias snimci se oduzimaju od svih ostalih snimaka. Budući da fotoaparat koji smo koristili ne može da očitava nulti nivo na svom čipu, ti snimci su napravljeni sa zatvorenim objektivom i najmanjom mogućom ekspozicijom (1/2000 s). **Dark** snimci predstavljaju termalni šum čipa, što je posledica termalnog kretanja elektrona na čipu. Ovi snimci snimljeni su sa zatvorenim objektivom. Kako je za kalibraciju neophodno da dark snimci imaju istu ekspoziciju kao light snimci, svaki od tih snimaka je imao ekspoziciju od 30 s. Korekcija termalnog šuma vrši se oduzimanjem dark snimaka od light snimaka. **Flat field** snimci, koji predstavljaju neravnomernu osvetljenost čipa, snimljeni su teleskopom uperenim ka nebu. Važan uslov za snimanje flat field snimaka jeste da je teleskop uperen ka ravnomernom osvetljenju. U ovom slučaju, snimci su pravljani u sumrak, pri čemu u vidnom polju teleskopa nije bilo vidljivih razlika u osvetljenju. Flat field korekcija vrši se tako što se light snimci podele sa flat field snimcima.

Rezultati i diskusija

Zvezda je posmatrana u Istraživačkoj stanici Petnica, u noći između 29. i 30. avgusta 2017. godine, u periodu od 5.5 sati. Na tako dobijenim snimcima izvršena je diferencijalna fotometrija, sa poredbenim zvezdama navedenim u tabeli 1. Fotometrijom je dobijena kriva sjaja gde se primećuje pravilna pulsacija (slika 1). Kako bi se izračunale neodređenosti za magnitudu, svaka 4 susedna snimka su usrednjena. Iz tako usred-

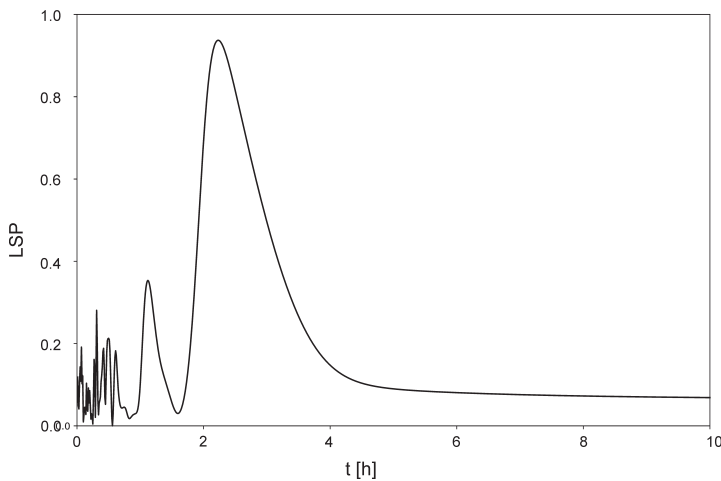
Tabela 1. Poredbene zvezde sa koordinatama i magnitudom u V filteru

Naziv	α (J2000)	δ (J2000)	V
BD+46 3328	21h 28m 29.1s	+46° 40' 36"	9.54
HD 204341	21h 26m 29.1264s	+46° 42' 36.395"	8.76
HD 204569	21h 28m 02.5663s	+46° 24' 37.483"	8.86



Slika 1. Kriva sjaja zvezde V2455 Cyg

Figure 1. Lightcurve of the star V2455 Cyg



Slika 2. Rezultat Lomb-Scargle periodograma: jačina signala sa određenim periodom u krivi sjaja. Na x-osi je period u satima.

Figure 2. Result of the Lomb-Scargle periodogram: signal power in the lightcurve for a given period. The x-axis represents the period of the lightcurve.

njenih snimaka procenjena je srednja vrednost za magnitudu. Neodređenosti za magnitudu su izračunate po sledećoj formuli:

$$\Delta m = -2.5 \log_{10} \left(1 + \frac{\Delta F}{F} \right),$$

gde je ΔF standardna devijacija fluksa zvezde na 4 snimka koji su bili usrednjeni, a F srednja vrednost tog fluksa.

Na krivu sjaja primenjen je Lomb-Scargle periodogram (web 3), algoritam koji za date po-

datke daje raspodelu jačine signala u zavisnosti od frekvencije. Dobijeni grafik (slika 2) ima više lokalnih maksimuma, ali uzet je u obzir samo onaj najveći. Neodređenost za period je izračunata kao polovina širine na polovini maksimuma (HWHM) periodograma (VanderPlas 2018).

Iz Lomb-Scargle periodograma dobijena je vrednost perioda u satima $P = 2.2 \pm 0.5$ h, što je veoma približno vrednosti od 2.26, dobijenoj u literaturi (Wils *et al.* 2003). Vrednost iz literature jeste u margini greške, ali zbog kratkog intervala u kome je zvezda snimana, kao i zbog nepre-

ciznosti Lomb-Scargle periodograma, dobija se velika relativna greška od približno 23%.

S obzirom na dobijene rezultate, pokazalo se da je fotometrija na DSLR fotoaparatu izvodljiva i da se na taj način može dobiti kriva sjaja, i pored komplikacija kod DSLR fotometrije.

Zaključak

Ovaj rad je obuhvatao posmatranje zvezde V2455 Cyg DSLR fotoaparatom i obradu dobijenih snimaka sa ciljem da se ispita u kojoj meri se moguće CCD detektor zameniti DSLR fotoaparatom. Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da fotometrija pomoću DSLR fotoaparata može dati tačne rezultate za period, pri čemu preciznost rezultata zavisi od načina dalje obrade podataka. Metod korišćen u ovom radu daje period pulsacije, ali sa malom preciznošću. To je zato što Lomb-Scargle periodogram daje jačinu sinusoidnog signala u datim podacima, pri čemu kriva sjaja nije sinusnog oblika. Preciznost rezultata bi bila veća kada bi se, umesto sinusoidnom krivom, podaci fitovali modelovanom krivom sjaja zvezde.

Budući da DSLR i CCD ne koriste iste filtere, spektri koje ti filteri propuštaju su različiti, i zbog toga kriva sjaja dobijena ovim metodom može biti drugačija kao po rasponu vrednosti sjaja, tako i po obliku. Kako bi se utvrdilo koliko je precizan oblik krive, kao potencijalni nastavak rada na ovu temu, treba uporediti dobijenu krivu sjaja sa krivom sjaja dobijenom CCD fotometrijom. Iz istog razloga, korisno bi bilo uporediti fotometriju u B filteru sa fotometrijom u plavom kanalu, kao i fotometriju u R filteru sa fotometrijom u crvenom kanalu.

Zahvalnost. Autor želi da zahvali Dušanu Pavloviću, Anđelki Milovanović, Stevanu Goluboviću i Nemanji Martinoviću na dodatnoj pomoći oko rada.

Literatura

Kloppenborg B., Henden A. 2016. Photometry – from measurement to magnitude. *The AAVSO DSLR Observing Manual*, version 1.4 (ur. M. Blackford *et al.*). Cambridge, MA: American Association of Variable Star Observers, str. 70-3.

VanderPlas J. T., 2018. Understanding the Lomb–Scargle Periodogram. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 236(1): 16.

Vukićević-Karabin M., Atanacković O. 2010. *Opšta astrofizika*. Beograd: Zavod za udžbenike

Wils P., Van Cauteren P., Lampens P., 2003. NSV 25610: A High-Amplitude delta Scuti Star. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5475.

Web 1:
https://www.univie.ac.at/tops/dsn/texts/what_deltascuti.html

Web 2:
<https://www.swagastro.com/to-bin-or-not-to-bin.html>

Web 3:
<http://docs.astropy.org/en/stable/stats/lombscargle.html>

Sava Jevtić

DSLR Photometry of the Variable Star V2455 Cyg

The main goal of this project is to observe a variable star with a DSLR camera and get the lightcurve of the star. The star we observed was v2455 Cyg of the Delta Scuti type. The stars of this type have regular pulsations. The star was observed with a MEADE LXD75 6" Newton f/5 telescope and a Canon EOS 600D DSLR camera. The recorded frames were binned first (each cluster of 3×3 pixels was combined into a single pixel), and then the green channel (the closest to the V filter, from which the reference magnitudes were taken) was extracted. To get the lightcurve, we used differential photometry, with 3 reference stars. The results of the photometry show that the star pulsates regularly, as expected (Figure 1). To get the pulsation period, we used the Lomb-Scargle periodogram, which returns the signal power distribution in the lightcurve, for a given period (Figure 2). This way, we have concluded that the period is equal to 2.2 ± 0.5 hours, which is approximately equal to the expected value of 2.26 hours. This implies that DSLR cameras are suitable for photometry. 