

Nastavno-naučnom veću  
Matematičkog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

Na 327. sednici Nastavno-naučnog veća Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, održanoj 18. decembra 2015. godine, imenovani smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije „*Određivanje fizičkih parametara cepeida tipa II*“ kandidatkinje Monike Jurković. Na osnovu uvida u sadržaj disertacije podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

## IZVEŠTAJ

### **Biografski podaci kandidatkinje**

Monika (Vinko) Jurković je rođena 3. septembra 1981. godine u Subotici, gde je završila osnovnu i srednju školu. Na Univerzitetu u Segedinu završila je master studije za profesora fizike 2005. godine, a 2006. godine i master studije iz astrofizike. Tokom studija je primala stipendiju od mađarske vlade, a 2005./2006. godine je primala Državnu stipendiju Republike Mađarske koja se dodeljuje najboljim studentima u zemlji. Na takmičenju studentskih istraživačkih radova 2002. godine je bila učesnik, a 2006. godine je osvojila drugo mesto na državnom nivou. Učestvovala je u nastavi na Univerzitetu u Segedinu (Mađarska). Vratila se u Srbiju 2010. godine, kada se upisala na doktorske studije na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Počela da radi u Astronomskoj opservatoriji u Beogradu u okviru projektu 176004 („Fizika zvezda“) Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije 2011. godine. Trenutno je u zvanju istraživač saradnik. Tokom svoje naučne karijere učestvovala je na više od 20 konferencija i letnjih škola i dobila je veliki broj stipendija. Na Konkvoj opservatoriji u Budimpešti (Mađarska) član je istraživačkog tima koji se bavi pulsirajućim zvezdama. Posetila je Budimpeštu u više navrata na nekoliko meseci. U Potsdamu (Nemačka) je provela tri meseca 2012. godine na Institutu za astrofiziku preko FP7 projekta "BELLISSIMA".

## Naučno-istraživački rad kandidatkinje

Kandidatkinja se bavi pulsirajućim zvezdama, konkretno cefeidama tipa II i anomalnim cefeidama. Prvo naučno istraživanje u ovom polju kandidatkinja je uradila još tokom studija na Univerzitetu u Segedinu, gde je proučavala mogućnost razlikovanja cefeida tipa II i klasičnih cefeida koristeći razlike u radijalnim brzinama dobijenim iz linija metala i iz linije H $\alpha$  merenih u spektrima pojedinačnih zvezda. Radila je na razvoju metode za kalibraciju merenja daljina uz pomoć funkcije gustine verovatnoće. Analizirala je cefeide tipa II za koje su podaci dobijeni svemirskim teleskopom *Kepler* u misiji *K2* i sa grupom za istraživanje pulsirajućih zvezda u Konkvoj opservatoriji je objavila rad gde je po prvi put otkriven fenomen „udvostručenja perioda“ kod zvezda tipa *W Virginis*. Sa dr Martinom Gronevegenom je radila na određivanju fizičkih parametara cefeida tipa II i anomalnih cefeida u Velikom i Malom Magelanovom oblaku. U okviru ovog istraživanja, po prvi put je konstruisana relacija period-luminoznost u bolometrijskim magnitudama i relacija period-poluprečnik za ove zvezde. Samostalno je proučavala homogenost uzorka poznatih kratkoperiodičnih cefeida tipa II u Mlečnom putu. Objavila je šest naučnih radova sa koautorima i jedan samostalni članak u međunarodnim časopisima i 10 radova sa konferencija štampanih u celini.

## Kratak prikaz i struktura doktorske disertacije

Disertacija sadrži ukupno 225 stranica teksta, uključujući dodatni materijal. Isključujući Zahvalnicu, Dodatak, Biografiju i obavezne Priloge, disertacija sadrži 148 stranica teksta. U disertaciji je korišćeno ukupno 235 referenci, 63 slike i 11 tabela.

Struktura teze je sledeća:

1. Uvod (1-51)
  2. Podaci (52-55)
  3. Metode (56-70)
  4. Fizički parametri cefeida tipa II i anomalnih cefeida (71-95)
  5. Relacija period-luminoznost (96-102)
  6. Pojava „menjanja oblika“ krivih sjaja kod zvezda tipa *W Virginis* (103-110)
  7. Anomalne cefeide i drugi tipovi zvezda u uzorku galaktičkih kratkoperiodičnih cefeida tipa II (111-140)
  8. Pripadnost sedam cefeida tipa II Galaktičkim podsistemima (141-144)
  9. Zaključak (145-148)
- Ostalo: Zahvalnice, Dodaci, Bibliografija, Biografija i Prilozi (149-225)

Uvod daje kratak pregled posmatračke istorije pulsirajućih zvezda. Navode se posmatrački programi sa Zemlje i iz svemira koji su značajno unapredili saznanja u polju pulsirajućih zvezda. Detaljno su prikazane osobine cefeida tipa II i anomalnih cefeida koje su poznate iz postojeće literature. Opisana je teorija zvezdanih pulsacija,  $\kappa$ -mehanizma i evolucije zvezda malih masa. Najznačajniji doprinos pulsirajućih zvezda posmatračkoj astronomiji je to što one formiraju relaciju period-luminoznost, koja služi za merenje daljine za zvezde u obližnjim galaksijama, što ih čini i pogodnim kalibratorima za merenje daljina dalekih galaksija.

Drugo i treće poglavlje opisuju posmatračke podatke i metode koje se koriste u ostatku disertacije.

U četvrtom poglavlju se detaljno izlaže postupak određivanja fizičkih parametara cefeida tipa II i anomalnih cefeida iz Velikog i Malog Magelanovog oblaka (ukupno 335 zvezda). Metodom modeliranja spektralne energetske raspodele dobijene su njihove luminoznosti i efektivne temperature. Njihovi poluprečnici i mase su dobijeni uz pomoć poznatih relacija za zvezde tipa *RR Lyrae* i klasične cefeide. Ovako određeni fizički parametri su omogućili konstrukciju Hercšprung-Raselovog dijagrama na osnovu rezultujućih luminoznosti i efektivnih temperatura i direktno poređenje sa evolucionim putanjama iz postojećih modela strukture i evolucije zvezda malih masa i različitih metaličnosti. Na osnovu dobijenih luminoznosti, u petom poglavlju je konstruisana relacija period-luminoznost u bolometrijskim magnitudama za cefeide tipa II i anomalne cefeide iz Velikog i Malog Magelanovog oblaka. Dato je i detaljno poređenje rezultata sa literaturom.

U šestom poglavlju je prikazan do sada nepoznat fenomen „menjanja oblika“ kod devet cefeida tipa II, podtipa *W Virginis*.

Sedmo poglavlje se bavi ispitivanjem homogenosti uzorka kratkoperiodičnih cefeida tipa II, podtipa *BL Herculis*, iz Mlečnog puta. Urađena je Furijeova analiza za 59 od 128 zvezda ovog tipa iz Opšteg kataloga promenljivih zvezda, za koje je bilo moguće pribaviti adekvatne posmatračke podatke. Furijeovi parametri za zvezde iz Mlečnog puta su upoređeni sa Furijeovim parametrima za zvezde tipa *BL Herculis* i anomalne cefeide iz Velikog Magelanovog oblaka izračunatim na osnovu fotometrijskih podataka iz kataloga OGLE-III.

U osmom poglavlju je ispitana pripadnost sedam cefeida tipa II Galaktičkim podsistemima.

## Pregled važnijih rezultata disertacije

Najvažniji rezultat ove doktorske disertacije su fizički parametri (luminoznost, efektivna temperatura, poluprečnik i masa) za 335 cefeida tipa II i anomalnih cefeida iz Velikog i Malog Magelanovog oblaka, dobijeni na osnovu modeliranja spektralne energetske raspodele (SER). Zvezde tipa *BL Herculis*, anomalne cefeide i većina zvezda tipa *W Virginis* nemaju detektovani infracrveni višak. Ovaj višak ima oko 10% neobičnih zvezda tipa *W Virginis*. U slučaju zvezda tipa *RV Tauri*, njih oko 60% ima infracrveni višak. Upoređivanjem pozicije ovih zvezda na Hercšprung-Raselovom dijagramu sa evolucionim modelima videlo se da su parametri zvezda tipa *BL Herculis* u dobroj saglasnosti sa modelima zvezda od oko  $0,5 - 0,6 M_{\odot}$  koje napuštaju horizontalnu granu nulte starosti. Evolucija anomalnih cefeida se može objasniti modelima od oko  $1,1 - 2,3 M_{\odot}$ . Evolucionni status zvezda tipa *W Virginis* nije sasvim jasan. Srednja masa zvezda tipa *BL Herculis* je oko  $0,5 M_{\odot}$ , a anomalnih cefeida oko  $1,3 M_{\odot}$ . Kod zvezda tipa *RV Tauri* procenjene mase su ili previsoke (oko  $1 M_{\odot}$ ) ili preniske (oko  $0,5 M_{\odot}$ ) u odnosu na očekivane vrednosti, što ukazuje na problem procene mase kod ovog podtipa.

Konstruisana je prva relacija period-luminoznost u kojoj je luminoznost izračunata direktno iz merenja i prikazana je u bolometrijskoj magnitudi. Konstruisana je i relacija period-poluprečnik za cefeide tipa II i anomalne cefeide iz Velikog i Malog Magelanovog oblaka.

Kod devet zvezda tipa *W Virginis* sa periodima oko 12 dana otkrivena je značajna i brza promena oblika krive sjaja s vremenom koja je nazvana "fenomen menjanja oblika".

U uzorku od 128 kratkoperiodičnih cefeida tipa II iz Mlečnog puta, koji je preuzet iz Opšteg kataloga promenljivih zvezda, ispitano je 59 zvezda za koje je bilo moguće pronaći adekvatne posmatračke podatke. Reklasifikacija ovih zvezda na osnovu oblika krive sjaja dovela je do otkrića 19 anomalnih cefeida koje pulsiraju u osnovnoj frekvenciji i jedne koja pulsira u prvoj nadmodi. U uzorku su takođe nađene zvezde drugih tipova: neobične zvezde tipa *W Virginis*, klasične cefeide kao i zvezde koje uopšte ne pulsiraju. Nakon reklasifikacije se ispostavilo da zvezde tipa *BL Herculis* imaju metaličnost sličnu Sunčevoj, dok anomalne cefeide imaju nisku metaličnost.

Za šest cefeida tipa II (od sedam za koje je izvršeno ispitivanje pripadnosti Galaktičkim podsistemima) je utvrđeno da su najverovatnije članovi tankog diska Galaksije, dok samo jedna pokazuje znakove pripadnosti halou.

## Bibliografija kandidatkinje

### A) Naučni radovi objavljeni u međunarodnim časopisima, iz disertacije:

1. Groenewegen, M. A. T.; Jurkovic, M. I., 2017: "Luminosities and infrared excess in Type II and anomalous Cepheids in the Large and Small Magellanic Clouds", *Astron. Astrophys.*, **603**, A70, 1-61 (M21)
2. Groenewegen, M. A. T.; Jurkovic, M. I., 2017: "The period-luminosity and period-radius relations of Type II and anomalous Cepheids in the Large and Small Magellanic Clouds", *Astron. Astrophys.*, **604**, A29, 1-8 (M21)
3. Jurkovic, M. I., 2018: "Anomalous Cepheids Discovered in a Sample of Galactic Short Period Type II Cepheids", *Serb. Astron. J.*, DOI: [10.2298/SAJ180316002J](https://doi.org/10.2298/SAJ180316002J) (M23)

### B) Naučna saopštenja na konferencijama štampana u celini, iz disertacije:

1. Jurkovic, Monika I., 2018: "Anomalous Cepheids Among Short Period Type II Cepheids in the Milky Way", (The RR Lyrae 2017 Conference. Revival of the Classical Pulsators: from Galactic Structure to Stellar Interior Diagnostics, 17-21 September, 2017 in Niepołomice, Poland) *Proceedings of the Polish Astronomical Society*, **6**, 302-303
2. Groenewegen, Martin A. T.; Jurkovic, Monika I., 2018: "Properties of Anomalous and Type-II Cepheids in the Magellanic Clouds", (The RR Lyrae 2017 Conference. Revival of the Classical Pulsators: from Galactic Structure to Stellar Interior Diagnostics, 17-21 September, 2017 in Niepołomice, Poland) *Proceedings of the Polish Astronomical Society*, **6**, 47-52
3. Jurkovic, Monika I.; Groenewegen, Martin A. T., 2017: "Properties of Anomalous and Type II Cepheids in the Small and Large Magellanic Clouds", (Wide-Field Variability Surveys: A 21st Century Perspective - 22nd Los Alamos Stellar Pulsation - Conference Series Meeting, 28 November - 2 December 2016, San Pedro de Atacama, Chile), *EPJ Web of Conferences*, **152**, id.07006
4. Groenewegen, Martin A. T.; Jurkovic, Monika I., 2017: "Infrared excess in semi-regular variables in the Magellanic Clouds", (Wide-Field Variability Surveys: A 21st Century Perspective - 22nd Los Alamos Stellar Pulsation - Conference Series Meeting, 28 November - 2 December 2016, San Pedro de Atacama, Chile), *EPJ Web of Conferences*, **152**, id.01018
5. Jurkovic, M. I.; Stojanović, M.; Ninković, S., 2016: "Galactic membership of BL Her type variable stars", (RRL2015: High-Precision Studies of RR Lyrae Stars, 19-22 October 2015, Visegrád, Hungary) *Communications from the Konkoly Observatory*, **105**, 175-178

6. Jurkovic, M. I., 2015: "On the of classification of BL Her subtype of the Type II Cepheids", (The Space Photometry Revolution - CoRoT Symposium 3, Kepler KASC-7 Joint Meeting, 6-11 July 2014, Toulouse, France) *EPJ Web of Conferences*, **101**, id.06035
7. Jurković, Monika; Szabados, László, 2014: "Study of BL Her type pulsating variable stars using publicly available photometric databases" (Precision Asteroseismology, 19-23 August, 2013, Wrocław, Poland) *Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, **301**, 431-432
8. Jurkovic, Monika, Vinkó, József, 2008: "Mapping Atmospheric Motions in Classical and Type II Cepheids" (Precision Spectroscopy in Astrophysics, 11-15 September 2006, Aveiro, Portugal) *Proceedings of the ESO/Lisbon/Aveiro Conference*, **1**, 165-168

C) Ostali naučni radovi objavljeni u međunarodnim časopisima:

1. Plachy, E.; Molnár, L.; Jurkovic, M. I.; Smolec, R.; Moskalik, P. A.; Pál, A.; Szabados, L.; Szabó, R., 2017: "First observations of W Virginis stars with K2: detection of period doubling", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **465**, 173-179
2. Essam, A.; Djurašević, G.; Ahmed, N. M.; Jurković, M., 2014: "A photometric study of the W UMa-type eclipsing binary system 1SWASP J160156.04 + 202821.6", *New Astron.*, **32**, 16-20
3. Vukotić, B.; Jurković, M.; Urošević, D.; Arbutina, B., 2014: "On calibration of some distance scales in astrophysics", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **440**, 2026-2035
4. Jurkovic, M.; Szabados, L.; Vinkó, J.; Csák, B., 2014: "Pulsation and orbit of AU Pegasi", *Astron. Nachr.*, **328**, 837-841

D) Ostala naučna saopštenja na konferencijama štampana u celini:

1. Vince, O.; Jurkovic, M., 2012: "The Astronomical Station Vidojevica: The 60 cm Telescope" (XVI Nac. Conf. Astron. Serbia, 10-12 October, 2011, Belgrade, Serbia) *Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade*, **91**, 77-82
2. Martinović, N.; Jurković, M.; Stojanović, M.; Vince, O.; Bogosavljević, M., 2012: "Future Robotic observatory on Mountain Vidojevica: site and equipment specification" (Second Workshop on Robotic Autonomous Observatories. 5-10 June 2011, Torremolinos (Málaga), Spain) *Astronomical Society of India Conference Series*, **7**, 187

## Zaključak i predlog komisije

Doktorska teza Monike Jurković pod nazivom „Određivanje fizičkih parametara cefeida tipa II“ je celovito naučno delo koje detaljno opisuje trenutno stanje poznavanja pulsirajućih zvezda - cefeida tipa II i anomalnih cefeida. Kandidatkinja je stekla i demonstrirala visok nivo poznavanja oblasti pulsirajućih zvezda, izuzetnu kreativnost u kombinovanju različitih analitičkih metoda i njihovoj primeni, sposobnost kritičkog razmišljanja i praktične veštine u pronalaženju i pripremi posmatračkih podataka. Najvažniji rezultati ove disertacije – luminoznosti, efektivne temperature, mase i poluprečnici, kao i relacije period-luminoznost i period-poluprečnik za cefeide tipa II i anomalne cefeide u Magelanovim oblacima, su od velikog značaja za oblast proučavanja pulsirajućih zvezda. U tezi je predstavljeno otkriće fenomena „menjanja oblika“ kod zvezda tipa *W Virginis*. Proučavane su i kratkoperiodične cefeide tipa II u Mlečnom putu, među kojima je na osnovu nove klasifikacije otkriven značajan broj anomalnih cefeida. Za šest zvezda tipa *BL Herculis* je kinematičkom metodom ustanovljeno da se nalaze u disku Mlečnog puta, a samo jedna bi mogla biti deo haloa. Svi rezultati prikazani u disertaciji su proistekli iz originalnog naučnog rada kandidatkinje i predstavljaju značajan naučni doprinos. Monika Jurković je objavila, samostalno i kao koautor, sedam radova u međunarodnim časopisima i deset saopštenja sa naučnih konferencija.

Na osnovu izloženog, predlažemo Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj izveštaj i pozitivnu ocenu doktorske disertacije „Određivanje fizičkih parametara cefeida tipa II“ kandidatkinje Monike Jurković i odredi komisiju za njenu odbranu.

U Beogradu, \_\_\_\_\_ . godine

Komisija za pregled i ocenu

---

dr Olivera Latković, naučni saradnik, mentor

---

dr Bojan Arbutina, vanredni profesor

---

dr László L. Kiss, naučni savetnik

---

dr Giuseppe Bono, redovni profesor