

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 „*Optička detekcija ostataka supernovih i uticaj njihove emisije u liniji H α na određivanje stope formiranja zvezda*“ kandidatkinje Milice Vučetić. Na osnovu uvida u sadržaj disertacije podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

Biografski podaci kandidatkinje

Milica Vučetić (rođ. Anđelić) je rođena 19. 9. 1985. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju završila je u Valjevu. Školske 2004/05. godine upisala je osnovne studije na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Astrofizika. Diplomirala je sa prosečnom ocenom 9.64 i u decembru 2009. godine je na istom fakultetu upisala doktorske studije.

Od 2010. do 2011. godine kandidatkinja je bila stipendista Ministarstva na projektu „Gasovita i zvezdana komponenta galaksija: interakcija i evolucija“. Radni odnos je zasnovala 2011. godine na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u zvanju istraživač-pripravnik na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije „Emisione magline: struktura i evolucija“, pod rukovodstvom prof. dr Dejana Uroševića. U zvanje istraživač-saradnik izabrana je u junu 2012. godine.

Naučno-istraživački rad kandidatkinje

Naučno-istraživački rad kandidatkinje se odvija u oblasti detekcije emisionih maglina u optičkom području, određivanju uticaja optičkih ostataka supernovih (OSN) na stopu formiranja zvezda (SFZ), kao i proučavanju evolucije OSN.

Detekciju HII regiona i OSN kandidatkinja realizuje kroz optička posmatranja u uskopojasnim filterima (H α , [SII] i crveni kontinuum) i to na Nacionalnoj astronomskoj opservatoriji Rozhen u Bugarskoj, kao i na Nacionalnoj opservatoriji Tubitak u Antaliji, Turska. Do sada su posmatrane galaksije Holmberg IX, NGC3077, IC342, NGC1569, NGC2366, IC2574, NGC185, NGC1156, NGC6946 i IC1613. Osim detekcije HII regiona i OSN, iz ovih posmatranja su određivane SFZ u galaksijama, i to na način da je iz ukupnog zračenja galaksije u H α liniji isključeno zračenje OSN, kako bi se poboljšala procena SFZ. Kandidatkinja je učestvala u radu grupe koja se bavila popravkom tzv. računa jednakog učešća za određivanje ukupne energije i jačine magnetnog polja u ostacima supernovih. Autor je, odnosno koautor, 8 radova objavljenih u naučnim časopisima sa recenzijom i 6

radova prikazanih na naučnim skupovima u zemlji i inostranstvu. Kandidatkinja je stručni saradnik seminara Astronomija u Istraživačkoj stanici Petnica.

Kratak prikaz i struktura doktorske disertacije

Disertacija sadrži ukupno 159 stranica teksta, uključujući dodatni materijal, koji čini 18 tabela, i jednu stranicu sa biografijom autora. Isključujući Dodatak, disertacija sadrži 119 stranica teksta sa spiskom korišćene literature od 368 referenci, 18 slika i 8 tabela. Struktura teksta je sledeća:

1. Uvod (1-2)
2. Formiranje i stopa formiranja zvezda (3-22)
3. Linija $H\alpha$ kao indikator stope formiranja zvezda (23-31)
4. Ostaci supernovih (32-48)
5. Optička detekcija ostataka supernovih (49-48)
6. Uticaj emisije ostataka supernovih u liniji $H\alpha$ na stopu formiranja zvezda (69-100)
7. Zaključak (101-104)
8. Bibliografija (105-118)
9. Dodatak – Optički ostaci supernovih u obližnjim galaksijama (119-158)
10. Biografija autora (159)

U disertaciji je analiziran uticaj zračenja OSN u liniji vodonika $H\alpha$ na SFZ određenu na osnovu emisije u ovoj liniji. Obradi teme je pristupljeno na dva načina – sopstvenim posmatranjima bliskih galaksija kako bi se detektovali optički OSN, kao i pretragom literature kako bi se sastavila lista svih optički detektovanih OSN van naše Galaksije. Prilikom određivanja stope formiranja zvezda iz linije $H\alpha$, polazna pretpostavka je da zračenje potiče iz jonizovanog gasa koji okružuje mlade zvezde, tj iz tzv. HII regiona. Zbog toga optičko zračenje ostataka supernovih u liniji $H\alpha$ „kontaminira” fluks na osnovu koga treba da se odredi SFZ. U disertaciji su prvobitno ukratko predstavljeni osnovni fizički procesi koji upravljaju formiranjem zvezda, a potom su navedeni svi načini (na osnovu zračenja duž celog elektromagnetnog spektra) na koje je moguće meriti stopu formiranja zvezda. Posebna pažnja je posvećena merenju SFZ na osnovu emisije u liniji $H\alpha$. Takođe su istaknute i sve poteškoće na koje se nailazi, odnosno koje zračenje je potrebno eliminisati iz ukupnog zračenja galaksije u liniji $H\alpha$, kada se SFZ meri na osnovu emisije u ovoj liniji. Tu se misli na zračenje susednih liniji azota [NII], kao i zračenje izvora koji ne prate proces trenutnog formiranja zvezda, kao što su, pored ostalog, ostaci supernovih. U narednom poglavlju je bliže objašnjen fenomen ostatka supernove, sa posebnim akcentom na fazu evolucije OSN kada on najviše zrači u optičkom delu spektra. Potom je detaljno prikazan kriterijum na osnovu koga se iz posmatranih emisionih maglina izdvajaju OSN, kao i fizički procesi koji stoje u pozadini. Prilikom optičke detekcije OSN koristi se pretpostavka da je odnos zračenja linija jedanput jonizovanog sumpora - [SII] i linije vodonika $H\alpha$ veći od 0.4 za OSN, dok je za HII regione ovaj odnos uglavnom dosta manji od 0.2. Ovaj kriterijum je ustanovljen empirijski, ali ga računarski kodovi koji simuliraju zračenje gasa pobuđenog fotojonizacijom (kao kod HII regiona), odnosno udarnim talasom (kao kod OSN), potvrđuju.

U daljem tekstu je prikazana detekcija 16 optičkih OSN u delu galaksije IC342, kao i dva potencijalna OSN u galaksiji NGC 185. Posmatranja su realizovana pomoću dvometarskog teleskopa na Nacionalnoj astronomskoj opservatoriji Rožen u Bugarskoj, korišćenjem uskopojasnih filtera: $H\alpha$, [SII] i filtera za kontinuum na talasnoj dužini bliskoj talasnim dužinama ove dve linije. Istim teleskopom je ranije posmatrana i patuljasta galaksija Holmberg IX. U ovoj disertaciji je diskutovan uticaj zračenja jednog ultra-luminoznog objekta u X-području – Holmberg IX X-1, koji intenzivno zrači i u liniji $H\alpha$, na SFZ u ovoj galaksiji. Preposlednje poglavlje disertacije predstavlja pojedinačno sve galaksije u kojima su detektovani OSN u optičkom delu spektra. Utvrđeno je da postoji 25 bliskih galaksija u kojima su posmatrani optički OSN. U disertaciji su prikazani detalji vezani za detekciju OSN u svakoj od ovih galaksija, kako u optičkom, tako i u drugim područjima elektromagnetnog spektra. Od ovih 25 galaksija, napravljen je uzorak od 18 galaksija, koje su u celosti, ili većim delom, posmatrane sa ciljem detekcije optičkih OSN (Vučetić et al. 2015a). U dodatnom materijalu su date tabele sa podacima (koordinate, $H\alpha$ fluksevi, dijometri, odnosi linija [SII]/ $H\alpha$) preuzetim iz literature za optičke OSN u svakoj galaksiji iz uzorka. Na kraju disertacije su dati zaključci, kao i planovi za budući rad.

Pregled važnijih rezultata disertacije

Ova disertacija je imala za cilj da proveri doprinos zračenja ostataka supernovih ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije i uticaj ovog doprinosa na procenu SFZ u galaksiji. Sa tom idejom, posmatrani su delovi obližnjih galaksija IC342, NGC 3077 i NGC 185 sa Nacionalne astronomske opservatorije Rožen. Posmatranjima kroz uskopojasne filtere detektovano je 16 potencijalnih OSN u dva vidna polja u galaksiji IC342 (Vučetić et al. 2015b), dva potencijalna OSN u galaksiji NGC 185 (Vučetić et al. 2016), dok u posmatranom delu galaksije NGC 3077 nisu nađeni optički OSN (Andelić et al. 2011). Posmatranja su pokazala da su dva prethodno poznata optička kandidata za OSN u galaksiji IC342 najverovatnije HII regioni. Fluks u liniji $H\alpha$ OSN u posmatranom delu galaksije IC342 iznosi 1.4% ukupnog $H\alpha$ fluksa. U patuljastoj galaksiji NGC 185 svega 10% $H\alpha$ fluksa potiče od difuzne emisije i kandidata za HII regione, dok preostali fluks potiče od planetarnih maglina i kandidata za ostatke supernovih, koji nisu pokazatelji formiranja zvezda. Zbog toga je u disertaciji istaknuto da bi se u slučaju procene stope formiranja zvezda na osnovu ukupne $H\alpha$ emisije u galaksiji NGC 185 načinila velika greška, jer bi SFZ bila veća čak deset puta od one kolika bi bila kada bi se uklonilo zračenje koje ne prati formiranje zvezda. Slično je i sa patuljastom galaksijom Holmberg IX u kojoj zračenjem u liniji $H\alpha$ dominira ULX objekat Holmberg IX-1, i uklanjanjem zračenja ovog objekta iz ukupnog zračenja galaksije dobila bi se oko četiri puta manja SFZ. Na primeru ove dve galaksije, NGC 185 i Holmberg IX, skrenuta je pažnja na to da slučajevi pogrešno određene SFZ zbog kontaminacije fluksa objektima koji nisu pokazatelji formiranja zvezda sigurno postoje i među drugim galaksijama, a posebno među patuljastim.

Drugi pristup odgovoru na pitanje koliki udeo zračenja galaksije u liniji $H\alpha$ potiče od OSN bio je da se u literaturi pronađu svi detektovani optički OSN. Kao što je već pomenuto, pronađeno je 25 ovakvih galaksija, a izdvojeno je njih 18 za detaljniju analizu. Diskutovan je

doprinos $H\alpha$ flukseva OSN ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije i njegov uticaj na procenu SFZ za svaku galaksiju u uzorku. Nađeno je da je prosečna kontaminacija ukupnog $H\alpha$ fluksa od strane OSN za analizirani uzorak od 18 bliskih galaksija pet procenata (Vučetić et al. 2015a). Najveća kontaminacija ostacima supernovih je oko 13%. U galaksiji M83, koja ima najveći broj detektovanih optičkih OSN, ovi objekti doprinose sa 9% u ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije. U disertaciji je istaknuto da se očekuje da je realan udeo zračenja ostataka supernovih u zračenju u liniji $H\alpha$ u spiralnim galaksijama oko 10%, slično kao u galaksiji M83. Zbog postojanja selekcionih efekata prilikom detekcije ostataka supernovih, pretpostavlja se takođe da pojedini procenti mogu biti i veći od procenata dobijenih u ovoj disertaciji.

Bibliografija kandidatkinje

A) Naučni radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja, iz disertacije:

1. Vučetić, M. M., Ćiprijanović, A., Pavlović, M. Z., Pannuti, T. G., Petrov, N., Goker, U. D., Ercan, E. N., 2015: "Optical Observations of the Nearby Galaxy IC342 with Narrow Band [SII] and $H\alpha$ Filters. II – Detection of 16 optically-identified supernova remnant candidates", *Serb. Astron. J.*, **191**, 67-74
2. Vučetić, M. M., Arbutina, B., Urošević, D., 2015: "Optical supernova remnants in nearby galaxies and their influence on star formation rates derived from $H\alpha$ emission", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **446**, 943-958
3. Vučetić, M. M., Arbutina, B., Urošević, D., Dobardžić, A.; Pavlović, M. Z., Pannuti, T. G., Petrov, N., 2013: "Optical Observations of the Nearby Galaxy IC342 with Narrow Band [SII] and $H\alpha$ Filters. I", *Serb. Astron. J.*, **187**, 11-18
4. Andjelić, M. M., 2011: "Star formation rate in Holmberg IX dwarf galaxy", 2011, *Serb. Astron. J.*, **183**, 71-75

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

1. Andjelić, M., Stavrev, K., Arbutina, B., Ilić, D., Urošević, D., 2011: "Observations of the galaxy NGC 3077 in the narrow band [SII] and $H\alpha$ filters", (VIII Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics, 6-10 June, 2011, Divčibare) *Baltic Astronomy*, **20**, 249-252 (M23)

C) Naučna saopštenja na konferencijama štampana u izvodu, iz disertacije:

1. Vučetić, M. M., Arbutina, B., Pavlović, M. Z., Ćiprijanović, A., Urošević, D., Petrov, N., Onić, D., Trčka, A., 2016: "Optical observation of supernova remnant in elliptical galaxy NGC 185", (Supernova Remnants: An Odyssey in Space after Stellar Death, Proceedings of the Conference held 6-11 June 2016, in Chania, Greece. Online at <http://snr2016.astro.noa.gr>, id.34)
2. Arbutina, B., Vučetić, M. M., 2016: "Some statistics of optical supernova remnant candidates in nearby galaxies", (Supernova Remnants: An Odyssey in Space after Stellar Death, Proceedings of the Conference held 6-11 June 2016, in Chania, Greece. Online at <http://snr2016.astro.noa.gr>, id.13)
3. Vučetić, M. M., Arbutina, B., Pavlović, M. Z., Ćiprijanović, A.; Urošević, D.; Petrov, N.; Onić, D.; Trčka, A., 2016: "Observations of NGC 185 galaxy – study of

supernova remnant in a dwarf elliptical galaxy”, (10th Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, June, 2016, Belgrade)

4. Andjelić, M. M., Arbutina, B., Stavrev, K., Urošević, D., 2012: “Star Formation Rate in Holmberg IX Dwarf Galaxy”, (XVI Nac. Conf. Astron. Serbia, October 10-12, 2011, Belgrade) *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, **91**, 241
5. Andjelić, M. M., Arbutina, B., Urošević, D., Dobardžić, A., Pavlović, M. Z., 2012: “Observations of Galaxy IC342 in Narrow Band [SII] and H α Filters”, (8th Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, May 08-12, 2012, Leskovac)

D) Ostali naučni radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja:

1. Arbutina, B., Urošević, D., Vučetić, M. M., Pavlović, M. Z., Vukotić, B., 2013: “Modified Equipartition Calculation for Supernova Remnants. Cases $\alpha = 0.5$ and $\alpha = 1$ ”, *Astrophys. J.*, **777**, 31-33
2. Arbutina, B., Urošević, D., Andjelić, M., Pavlović, M., Vukotić, B., 2012.: “Modified equipartition calculation for supernova remnants”, *Astrophys. J.*, **746**, 79-86

E) Ostala naučna saopštenja na konferencijama štampana u celini:

1. Arbutina, B., Urošević, D., Andjelić, M. M., Pavlović, M., 2011: “Equipartition calculation for supernova remnants”, (Cosmic Rays and Their Interstellar Medium Environment: CRISM Montpellier, June 26-July 1, 2011) *Mem. S.A.It.*, **82**, 822-823

F) Ostala naučna saopštenja na konferencijama štampana u izvodu:

1. Andjelić, M., Stavrev, K., Arbutina, B., Ilić, D., Urošević, D., 2010: “Observations of M81 Galaxy Group in Narrow Band [SII] and H α Filters. II”, (7th Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, June 01-04, 2010, Chepelare, Bulgaria)

Zaključak i predlog komisije

Doktorska disertacija Milice Vučetić pod nazivom „*Optička detekcija ostataka supernovih i uticaj njihove emisije u liniji H α na određivanje stope formiranja zvezda*“ celovito je naučno delo koje pregledno razmatra nekoliko tema vezanih za evoluciju ostataka supernovih i njihovo zračenje, primarno u linijama u optičkom delu spektra, kao i praksu određivanja stope formiranja zvezda u galaksijama. Kandidatkinja je stekla i demonstrirala visok nivo znanja i razumevanja teorije, sposobnost kritičkog razmišljanja i izvođenja sopstvenih zaključaka, kao i sposobnost i samostalnost u rešavanju praktičnih zadataka vezanih za obradu astronomskih posmatranja. Rezultati disertacije vezani za uticaj emisije u liniji H α ostataka supernovih iz posmatranih galaksija na određivanje stope formiranja zvezda predstavljaju originalan naučni doprinos. Osim podataka dostupnih u literaturi, kandidatkinja je prikupila i dodatne podatke, realizacijom sopstvenih posmatranja, te ova disertacija ima poseban značaj i za razvoj posmatračke astronomije u našoj zemlji. Iz naučne oblasti kojom se bavi, kandidatkinja je objavila, samostalno ili kao koautor, pet radova u međunarodnim časopisima i imala je veći broj saopštenja na naučnim konferencijama.

Stoga, predlažemo Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj izveštaj i pozitivnu ocenu doktorske disertacije „*Optička detekcija ostataka supernovih i uticaj njihove emisije u liniji H α na određivanje stope formiranja zvezda*“ kandidatkinje Milice Vučetić i odredi komisiju za njenu odbranu.

U Beogradu, 10. marta 2017. godine,

Komisija za pregled i ocenu

doc. dr Bojan Arbutina, mentor

prof. dr Dejan Urošević, redovni profesor

dr Milan M. Ćirković, naučni savetnik
Astronomske opservatorije u Beogradu