

Nastavno-naučnom veću
Matematičkog fakulteta
Univerziteta u Beogradu

Na 321. sednici Nastavno-naučnog veća Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, održanoj 22. maja 2015. godine, imenovani smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije „Određivanje barionske funkcije mase za uzorak bliskih galaksija” kandidata Milene Jovanović. Na osnovu uvida u sadržaj disertacije podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

Biografski podaci kandidata

Milena Jovanović rođena je 27. decembra 1981. godine u Nišu. Osnovnu školu i gimnaziju završila je u Valjevu. Školske 2000/01. godine upisala je osnovne akademske studije na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Astrofizika, gde je diplomirala 2010. godine sa prosečnom ocenom 8.31. Tokom jednog polugodišta školske godine držala je nastavu fizike u dve osnovne škole u Beogradu. Školske 2010/11. godine upisala je doktorske akademske studije na modulu Astronomija i astrofizika. Od februara 2011. godine zaposlena je na Astronomskoj opservatoriju u Beogradu kao istraživač pripravnik na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije "Vidljiva i nevidljiva materija u bliskim galaksijama: teorija i posmatranja" (ON176021, rukovodilac: dr Srđan Samurović). Sve ispite predviđene programom doktorskih akademskih studija položila je sa prosečnom ocenom 10.0, zaključno sa 2013. godinom. Od 2017. godine je u zvanju istraživač saradnik. Učestvovala je i na FP7 projektu Evropske komisije

BELISSIMA (BELgrade Initiative for Space Science, Instrumentation and Modelling in Astrophysics, br. ugovora: 256772, koordinator: dr Srđan Samurović). Od 2016. angažovana je na poslovima pomoćnika urednika u časopisu *Serbian Astronomical Journal*. Saradnik je u Istraživačkoj stanici Petnica.

Naučno-istraživački rad kandidata

Na početku bavljenja istraživanjem kandidatkinja je bila uključena u rad na proceni astroklimatskih uslova na Astronomskoj stanici Vidojevica, kojom rukovodi Astronomska opservatorija, a i danas je povremeno uključena u rad stanice i ispitivanje instrumenata na njoj. Od 2012. do 2014. godine kandidatkinja je provela više meseci u Nemačkoj na *Leibniz-Institute for Astrophysics Potsdam* u okviru projekta BELISSIMA, projekta Astronomske opservatorije. Kandidatkinja je tokom boravka u Potsdamu započela rad na implementaciji *pipeline*-a za automatsku obradu zvezdanih spektara visoke rezolucije dobijenih na STELLA teleskopu na Kanarima.

Određivanje mase eliptičnih galaksija je bilo predmet proučavanja u 2014. godini, i to korišćenjem različitih objekta (*tracers*) za određivanje mase galaksija, pristupa zasnovanog na rešavanju Džinsove (*Jeans*) jednačine, kao i podataka koji se dobijaju posmatranjima zračenja haloa galaksija u X-domenu. Rezultati rada na ovoj temi predmet su nekoliko navedenih publikacija.

Naučno-istraživački rad kandidatkinje u okviru doktorske disertacije tiče se prvenstveno određivanja količine barionske materije u galaksijama i njene raspodele, kako unutar samih galaksija, tako i unutar analiziranog uzorka galaksija. Analiza posmatračkih podataka i odabir teorijskih modela ima za cilj formiranje jedinstvene slike o faktorima koji određuju posmatranu dinamiku galaksija. Mase galaksija bogatih gasom, spiralnih i nepravilnih, modelovane su koristeći emisiju neutralnog vodonika HI u liniji na talasnoj dužini od 21 cm iz pregleda THINGS (Walter et al. 2008, AJ, 136, 2563). Kod ovog tzv. kasnog tipa galaksija koje su pritom dovoljno blizu, izvode se rotacione krive visoke rezolucije i koriste za dobijanje detaljnih dinamičkih modela. Dinamičko modelovanje rotacionih krivih obuhvata barionske činioce, zvezde i frakciju neutralnog gasa, i nebarionsku

tamnu materiju.

Na ovaj način analizirana je galaksija NGC 2841, koja je deo THINGS uzorka (Samurović, Vudragović & Jovanović, 2015, MNRAS, 451, 4073), i sa uspehom je prilikom dinamičkog modelovanja opisana njena rotaciona kriva koristeći dva različita modela za profil tamne materije (ISO, Jimenez et al. 2003, ApJ, 593, 622, i NFW, Navarro, Frenk & White, 1997, ApJ, 490, 493), kao i alternativni model gravitacije (Milgrom, 1983, ApJ, 270, 365). Dalje, u samostalnom radu kandidatkinje (Jovanović, 2017, MNRAS, 469(3), 3564) u potpunosti je zaokružena procedura dinamičkog modelovanja rotacionih krivih iz THINGS podataka. Zvezdana komponenta se opisuje posmatranjima iz infracrvenog dela spektra sa teleskopa *Spitzer*, neutralna frakcija se dobija direktno iz THINGS radio-posmatranja, i koriste se samo modeli koji podrazumevaju prisustvo tamne materije. U ovom radu se parametar skaliranja zvezdane komponente, tzv. odnos masa-sjaj M/L određuje na dva načina: ostavlja se slobodnim i time određuje upravo iz procedure dinamičkog modelovanja, ili se fiksira iz evolucionih modela zvezdanih populacija. Ovako opisana procedura primenjena je na sve galaksije iz THINGS uzorka gde je to bilo moguće da bi se izračunale najbitnije komponente galaksija koje doprinose ukupnoj dinamičkoj masi. Iz dobijenih masa pojedinačnih komponenti galaksija su formirane funkcije raspodele masa unutar uzorka, za moguće kombinacije modela tamne materije i odnosa M/L . Cilj je izračunavanje barionske funkcije mase (BFM), koja se dobija sabiranjem barionskih činioca (zvezda i gasa) za galaksije iz zadatog raspona galaktičkih masa. BFM i druge funkcije raspodela se upoređuju sa većim uzorkom, koji obuhvata širu Galaktičku okolinu, i formiran je uz različite selekzione efekte (Papastergis et al., 2012, ApJ, 759, 138). Kandidatkinja analizira i mesto naše Galaksije na lokalnoj i globalnoj BFM.

Kandidatkinja je autorka ili koautorka ukupno dvanaest recenziranih radova štampanih u celosti, uključujući i saopštenja sa konferencija. Od toga su četiri rada objavljena u međunarodnim časopisima sa recenzijom: tri M21 i jedan M23 kategorije. Osam saopštenja sa konferencija štampano je u celosti, deset u izvodu, a na četiri konferencije predstavila se posterom.

Bibliografija kandidata:

- a) Naučni radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja, iz disertacije:
1. Jovanović, Milena: 2017, *Two regimes of galaxy dynamics: mass models of NGC 5055 and DDO 154*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 469, Issue 3, p.3564-3575, DOI: 10.1093/mnras/stx1009, **M21, IF:5.194**
 2. Samurović, S., Vudragović, A. & Jovanović, M.: 2015, *Dark matter and MOND dynamical models of the massive spiral galaxy NGC 2841*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 451, Issue 4, p.4073-4085, DOI: 10.1093/mnras/stv1226, **M21, IF:4.952**
- b) Naučna saopštenja na konferencijama štampana u celini, sa recenzijom, iz disertacije:
1. Jovanović, M., Samurović, S. & Vudragović, A.: 2016, *Dynamical Modelling of NGC 2841*, Second BELISSIMA Workshop: First Light of the Milankovic Telescope, Vidojevica (Prokuplje), 06-07.06.2016, CDROM, ISBN 978-86-80019-75-8, **M63**
 2. Jovanović, M., Vudragović, A. & Samurović, S.: 2017, *Mass estimation of the elliptical galaxy NGC 5846*, Proceedings of the XVII Proceedings of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, September 23-27, 2014, September 23-27, 2014, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 96, pp. 245-250, **M63**
 3. Jovanović, M., Samurović, S., Ćirković, M. M. & Vudragović, A.: 2021, *Dynamical Modeling of Nearby Galaxies*, Proceedings of the XIX Serbian Astronomical Conference, October 13-17, 2020, Belgrade, Serbia, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 100, pp. 247-252, **M63**
- c) Naučna saopštenja na konferencijama štampana u izvodu, iz disertacije:
1. M. Jovanovic, A. Vudragovic & S. Samurovic: 2015, *Dynamical modelling of NGC 2841*, European Week of Astronomy and Space Science (EWASS), poster abstract no. 01250, section S03
 2. Milena Jovanovic: 2016, *Dynamical modeling and baryonic content of NGC 5055*

and DDO 154, European Week of Astronomy and Space Science (EWASS), oral presentation of the poster

d) Ostali naučni radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja:

1. Vudragović, A., Samurović, S. & Jovanović, M.: 2016, *Full stellar kinematical profiles of central parts of nearby galaxies*, Astronomy & Astrophysics, Volume 593, id.A40, 15 pp., DOI:10.1051/0004-6361/201527215, **M21**, **IF:5.014** (Vudragović, A., Samurović, S. & Jovanović, M.: 2016, *VizieR Online Data Catalog: Kinematical profiles of nearby galaxies (Vudragovic+, 2016)*, VizieR On-line Data Catalog: J/A+A/593/A40. Originally published in: 2016A&A...593A..40V)
2. Samurović, S., Vudragović, A., Jovanović, M. & Ćirković, M. M.: 2014, *Low Dark Matter Content of the Nearby Early-Type Galaxy NGC 821*, Serbian Astronomical Journal, vol. 188, pp. 29-36, DOI: 10.2298/SAJ1488029S, **M23**, **IF:0.704**

e) Ostala naučna saopštenja na konferencijama štampana u celini, sa recenzijom:

1. Jovanović, M., Stojanović, M., Martinović, N., Bogosavljević, M., Smolić, I. & Acković, B.: 2012, "Astronomical Station Vidojevica: Astro-Climate", Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 91, pp. 83-88, **M63**
2. Jovanovic, M., Weber, M. & Allende Prieto, C.: 2013, *Parses Pipeline For Determining The Stellar Parameters*, Proceedings of the International BELISSIMA Conference Future Science With Metre-Class Telescopes, 18-21. septembar 2012, Beograd, Srbija, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 92, pp. 169-174, **M63**
3. Vudragović, A., Samurović, S. & Jovanović, M.: 2017, *Implications of the kinematics on the chemical and dynamical properties of nearby elliptical galaxies*, Proceedings of the XVII Proceedings of the XVII National Conference of Astronomers of Serbia, September 23-27, 2014, September 23-27, 2014, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 96, pp. 303-308,

M63

4. Vudragović, A., Vince, O., Samurović, S. & Jovanović, M.: 2018, *Near-infrared photometry of the nearby spiral galaxy NGC 2841*, Proceedings of the XVIII Serbian Astronomical Conference, October 17-21, 2017, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 98, pp. 349-352, **M63**
5. Vudragović, A., Bilek, M., Muller, O., Samurović, S. & Jovanović, M.: 2021, *Testing the Performance of the Milankovic Telescope*, Proceedings of the XIX Serbian Astronomical Conference, October 13-17, 2020, Belgrade, Serbia, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 100, pp. 169-174, **M63**

Kandidatkinja je učestvovala na dvanaest škola i konferencija:

- *Cosmology and Particle Physics Beyond Standard Model*, 29. jun- 1. jul 2011. godine, Donji Milanovac, Srbija
- *XVI National Conference of Astronomers of Serbia*, 10-12. oktobar 2011. godine, Beograd, Srbija
- *BELISSIMA Workshop: Science with 1.5m telescopes*, 13-15. oktobar 2011. godine, Beograd, Srbija
- *International BELISSIMA Conference Future Science With Metre-Class Telescopes*, 18-21. septembar 2012. godine, Beograd, Srbija
- *Thinkshop 10: High-resolution optical spectroscopy – From instruments to astrophysical models*, 28-31. maj 2013. godine, Potsdam, Nemačka
- *Awareness Conference: Hot Topics in Astrophysics*, 24-28. septembar 2013. godine, Bukurešt, Rumunija
- *XVII National Conference of Astronomers of Serbia*, 23-27. septembar 2014. godine, Beograd, Srbija
- *European Week of Astronomy and Space Science (EWASS) 2015*, La Laguna, Tenerife, Španija
- *Second BELISSIMA Workshop “First Light of the Milanković Telescope”*, Vidojevica

(Prokuplje) 6-7. jun 2016. godine

- *European Week of Astronomy and Space Science (EWASS) 2016*, Atina, Grčka
- *XIX Serbian Astronomical Conference*, 13-17. oktobar 2020. godine , Beograd, Srbija (virtuelno)
- *Summer School in Statistics for Astronomers XVI* – 1-5. jun, 2021. godine, Stejt Koledž, Pensilavanija, SAD (virtuelno)

Kratak prikaz i struktura doktorske disertacije:

Disertacija sadrži ukupno 246 stranica teksta, dve stranice sa zahvalnicom i jednu sa biografijom autora. Isključujući Dodatak i spisak korišćene literature od 189 referenci, disertacija sadrži 222 stranice teksta sa 110 slika i 16 tabela. Struktura teksta je sledeća:

1. Uvod (1-8)
2. Teorijske osnove i hipoteza (9-41)
3. Posmatrački podaci i metode (42-125)
4. Dinamičko modelovanje (126-191)
5. Mase komponenti i funkcije mase (192-210)
6. Sumiranje rezultata i zaključaka (211-222)
7. Dodatak A: Radijalni profili (223-227)
8. Bibliografija (228-246)
9. Biografija (247)

U ovoj disertaciji analizirana je raspodela materije u lokalnom svemiru, vidljive i ukupne. Od najvećeg interesa za kandidatkinju je bila procena barionske mase (zvezda i gasa) sadržane u obližnjim galaksijama, i njene funkcije raspodele. Procena je urađena kroz detaljno dinamičko modelovanje za uzorak galaksija formiran iz pregleda THINGS (Walter et al. 2008, AJ, 136, 2563) za koji je ovakva analiza bila moguća.

Kratak pregled teme i problema kojima se bavi disertacija izloženi su u Uvodu. U drugom poglavlju, Teorijske osnove i hipoteza, objašnjen je širi kontekst metoda i izazova pri određivanju mase galaksija. Detaljnije se razmatra i određivanje odnosa M/L i evolucioni

modeli zvezdanih populacija. Izložena je hipoteza tamne materije, i istorijat ove teorije, na koju se oslanja disertacija. Dalje se objašnjava procedura izvođenja rotacionih krivih, i iz njih ukupne dinamičke mase, a zatim, kroz dinamičko modelovanje, i pojedinačnih komponenti mase galaksija. Objašnjena je konstrukcija Barionske funkcije mase (BFM), što je bio i glavni zadatak disertacije.

U trećem poglavlju, Posmatrački podaci i metode, detaljno se opisuje uzorak, korišćena radio i infracrvena posmatranja, njihova obrada i prilagođavanje zadatku disertacije. Ukupna dinamička masa galaksija bogatih gasom ogleđa se u rotacionim krivama, čije samostalno izvođenje iz THINGS radio-posmatranja je jedan od ključnih zadataka koji je kandidatkinja uspešno savladala u svom radu. Da bi objasnila posmatranu dinamiku dalje koristi fotometrijska posmatranja u infracrvenoj oblasti spektra kao dobar pokazatelj zvezdane mase, i radio-posmatranja za procenu mase frakcije neutralnog gasa.

Četvrto poglavlje, Dinamičko modelovanje, sadrži opis dinamičkih modela, koji su metodološki težište disertacije. Procedura fitovanja dobijenih rotacionih krivih, osim pomenutih empirijskih doprinosa za zvezde i gas, kao ulazne koristi i parametre za opis nebarionske tamne materije, koji se zasnivaju na modelima koji su posmatrački (pseudo-izotermalna sfera, ISO) i teorijski motivisani (Navaro-Frenk-Vajt, NFW). Izvedene su dve grupe modela, sa slobodnim parametrom M/L , i sa istim parametrom fiksiranim iz evolucionih modela zvezdanih populacija, tzv. SPS.

Mase su izračunate u petom poglavlju, Mase komponenti i funkcije mase, za oba skupa modela. Na osnovu dobijenih masa konstruisane su funkcije raspodele: mase neutralnog gasa, barionske mase, dinamičke mase, tamne materije, parametra M/L , barionske frakcije i sposobnosti zadržavanja bariona. Poređenje ovakve BFM sa istom raspodelom za drugačije izabrane uzorke i druge korišćene metodologije, a prvenstveno sa obimnijim uzorkom, omogućila je procenu tipičnosti naše galaktičke okoline i mesta naše Galaksije, Mlečnog puta u njoj.

Rezultati su sumirani i izloženi sa zaključcima i pravcima za budući rad u šestom poglavlju, Sumiranje rezultata i zaključaka.

U Dodatku je izložena analiza sa radijalnom promenom parametra M/L za galaksiju NGC 5055, bazirana na radu Jovanović, M. 2017, MNRAS, 469(3), 3564.

Na samom kraju teze data je bibliografija sa spiskom korišćenih referenci i biografija

kandidatkinje.

Pregled važnijih naučnih rezultata disertacije:

U ovoj disertaciji za modelovanje mase galaksija koriste se rotacione krive visoke rezolucije, koje su i dalje dostupne za mali broj bliskih galaksija. Izložene su prednosti detaljnog modelovanja u smislu veće tačnosti u određivanju parametra od interesa, i mogućnosti za diferenciranje među raspoloživim modelima za opis zvezdane komponente, tamne materije, evolucionih modela zvezdanih populacija, kao i poboljšanje istih.

Zaključeno je da ISO model ima prednost u odnosu na teorijski motivisan NFW model tamne materije. Dalje, slobodan parametar M/L daje bolje rezultate pri opisivanju rotacionih krivih, što dovodi do zaključka da je potrebno poboljšanje evolucionih modela zvezdanih populacija koji se trenutno koriste da bi se koristile vrednosti M/L iz njih. Evolucioni SPS model koji je dao najbolje rezultate je model diska (Into & Portinari, 2013, MNRAS, 430, 2715) sa Kroupinom inicijalnom funkcijom mase. Predstavljenom metodologijom uspešno je određena masa komponenti galaksija iz uzorka, sa velikom pouzdanošću. Dinamički modeli sa slobodnim parametrom M/L bili su uspešni za sve galaksije (20), a sa M/L fiksiranim iz SPS modela za 16 galaksija.

Iz dobijenih masa komponenti konstruisane su funkcije raspodele, uključujući i BFM. Dobijena BFM za okolinu do 15 Mpc, i galaksije bogate hladnim gasom, razlikuje se od BFM za širu okolinu (Papastergis et al., 2012, ApJ, 759, 138), za sve korišćene dinamičke modele. BFM raste ka velikim masama, za razliku od one konstruisane za pomenuti širi uzorak. Raspodela zvezdane mase pokazuje višak masivnih i veoma masivnih galaksija (zvezdana masa veća od 10^{10} Sunčevih masa), i takodje je primetan nedostatak galaksija srednjih masa u poređenju sa uzorkom iz šire okoline.

Nađeno je da je Mlečni put, što se tiče mase različitih komponenti, izrazito reprezentativan za svoje okruženje, gde je većina galaksija bogatih gasom upravo slična njemu. Zaključak je da u našem okruženju nedostaje galaksija srednjih zvezdanih (i samim time barionskih) masa (između 10^8 i 10^{10} Sunčevih masa), koje su najprisutnije u široj okolini.

Zaključak i predlog komisije:

Doktorska disertacija Milene Jovanović pod nazivom „Određivanje barionske funkcije mase za uzorak bliskih galaksija“ celovito je naučno delo koje razmatra metode modelovanja mase bliskih galaksija. Kandidatkinja je pokazala veliku samostalnost u izradi ove disertacije iz koje se vidi da je stekla visok nivo znanja i razumevanja posmatračkih tehnika što je demonstrirala u obradi astronomskih posmatranja u različitim delovima spektra, kao i u kreiranju teorijskih modela koji su zasnovani na najnovijim saznanjima iz oblasti koje obradjuje (kinematika i dinamika galaksija, fotometrija galaksija, analiza zvezdanih populacija u galaksijama, da pomenemo samo najvažnije). Rad Milene Jovanović je od velikog značaja za istraživačke projekte koji se obavljaju na Astronomskoj opservatoriji gde je ona zaposlena. Iz naučne oblasti kojom se bavi, kandidatkinja je objavila, samostalno i kao koautor, dva rada u vodećem međunarodnom časopisu (Monthly Notices of the Royal Astronomical Society) i imala je veći broj saopštenja na naučnim konferencijama.

Zbog toga, sa zadovoljstvom predlažemo Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj naš izveštaj i pozitivnu ocenu doktorske disertacije „Određivanje barionske funkcije mase za uzorak bliskih galaksija“ kandidatkinje Milene Jovanović i odredi komisiju za njenu odbranu.

U Beogradu, 6. avgusta 2021. godine

Komisija za pregled i ocenu

dr Srđan Samurović, naučni savetnik - mentor

dr Milan Ćirković, naučni savetnik

prof. dr Olga Atanacković, redovni profesor

prof. dr Dejan Urošević, redovni profesor

dr Slobodan Ninković, naučni savetnik