

Nastavno-naučnom veću  
Matematičkog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu

**Izveštaj Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije**  
*"Spektroskopska i fotometrijska analiza bliskih galaksija različitih morfoloških tipova"*  
**kandidatkinje mr Ane Lalović**

**Biografija kandidatkinje**

Mr Ana Lalović je rođena 04. 06. 1979. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju je završila u Beogradu. Studije astrofizike na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisala je 1998. i diplomirala 2004. godine. Ubrzo nakon diplomiranja (2005. godine) mr Ana Lalović se zapošljava na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu, gde radi i danas. Poslediplomske studije završila je u decembru 2008. godine, odbranom magistarske teze pod naslovom "Lajman-alfa šuma na niskom i srednjem crvenom pomaku i model minihaloa", pod mentorstvom dr. Milana Ćirkovića. Od početka svoje naučne karijere, objavila je 7 (izvor ADS) naučnih radova u domaćim i međunarodnim časopisima, a učestvovala je i na mnogim međunarodnim i domaćim naučnim skupovima.

## Struktura doktorske disertacije

Disertacija sadrži ukupno 671 stranicu teksta uključujući Dodatni materijal, koji čine 23 tabele, 6 slika i jedna stranica biografije autora. Isključujući Dodatni materijal, disertacija sadrži 142 stranice teksta sa spiskom korišćene literature od 112 referenci, 37 slika i 9 tabela. Struktura teksta je sledeća:

- Sadržaj
- 1. Uvod (1-24)
- 2.  $\alpha$ -uzorak galaksija (25-30)
- 3. Kinematički profili bliskih galaksija (31-70)
- 4. Indeksi jačine linija (71-86)
- 5. Modelovanje površinskog sjaja galaksija (87-108)
- 6. Metoda osnovnih komponenata (109-124)
- 7. Rezime i zaključci (125-130)
- 8. Literatura (131-142)
- 9. Dodatak A (145-148)
- 10. Dodatak B (149-198)
- 11. Dodatak C (199-214)
- 12. Dodatak D (215-264)
- 13. Dodatak E (265-266)
- 14. Dodatak F (267-432)
- 15. Dodatak G (433-436)
- 16. Dodatak H (437-670)
- 17. Biografija autora (671-671)

U prvim poglavljima disertacije opisan je uzorak galaksija, koji broji 2180 galaksija različitih morfoloških tipova i dat je pregled metoda koje će biti korišćene u narednim poglavljima za izračunavanje i testiranje relevantnih galaktičkih parametara. U prvih nekoliko poglavlja, izmerena je detaljna kinematika zvezda u galaksijama iz uzorka, Likovi indeksi, starost, metaličnost i parametri Sersikovog modela površinskog sjaja galaksija. Svi parametri računati u disertaciji, upoređeni su sa postojećim rezultatima. Oni su zatim testirani i međusobno upoređeni kako bi formirali veći parametarski prostor osobina galaksija, koji će zatim pomoću metode osnovnih komponenata biti redukovana na najmanji broj dimenzija, dovoljan da opiše galaksije različitih morfoloških tipova u lokalnom Univerzumu. Na kraju rada dat je rezime i izloženi su zaključci istraživanja, kao i predlozi budućih istraživanja, praćeni spiskom korišćene literature. U Dodatku disertacije date su tabele merenih veličina: postupak kreiranja uzorka sa osnovnim podacima o galaksijama, poređenje kinematike zvezda galaksija iz manjeg, nezavisnog uzorka galaksija sa

postojećim merenjima, kinematički profili galaksija iz uzorka, definicija regiona spektralnih indeksa, merenja Likovih indeksa upoređena sa postojećim rezultatima i rezultati modelovanja površinskog sjaja galaksija.

U ovoj disertaciji polazi se od hipoteze da sve galaksije, uprkos svojoj raznolikosti predstavljaju uređen skup objekata. Visok stepen uređenosti ogleđa se u relacijama skaliranja galaktičkih osobina u kosmološki značajnoj zapremini. Pretpostavlja se da je HI pregled naslepo, na osnovu kojeg je formiran uzorak galaksija, reprezentativan u morfološkom smislu.

Kandidatkinja koristi nekoliko metoda, kako bi iz spektroskopije i fotometrije izmerila odgovarajuće galaktičke parametre, značajne za krajnju statističku analizu osobina galaksija. Iz spektroskopije je izmerena raspodela brzina duž pravca posmatranja, uključujući više momente raspodele. U tu svrhu koristila je program pPXF. Napominjemo da je ovo trenutno najveći katalog galaksija sa detaljnom kinematikom zvezda. Kandidatkinja je primenila nekoliko statističkih testova nad višim momentom raspodele, kako bi ispitala potencijalno zajedničko poreklo galaksija različitih morfoloških tipova. Zatim je primenom vlastitog programa izračunala Likove indekse, uključujući sve relevantne korekcije. Radi formiranja konačnog skupa parametara, kandidatkinja je modelovala površinski sjaj galaksija jednokomponentnim i dvokomponentnim modelima raspodele sjaja, korišćenjem dva programa: SEXTRACTOR i GALFIT. Konačno, u većem parametarskom prostoru izmerenih i kataloških parametara, primenila je metodu osnovnih komponentata, kako bi pronašla najmanji broj dimenzija, pomoću kojih se u potpunosti mogu opisati galaksije, kakve vidimo danas.

## Pregled važnijih rezultata

Jedan od rezultata ove disertacije je kreiranje najvećeg kataloga detaljne kinematike zvezda, uključujući više momente raspodele brzina duž pravca posmatranja. Kinematika zvezda izmerena je pomoću javno dostupnog programa pPXF. Veličina uzorka omogućila je primenu statističkih testova, koji se slažu sa postojećom indikacijom da eliptične i sočivaste galaksije imaju zajedničko poreklo. Takođe, jedan od rezultata je pronalaženje novog indeksa gvožđa analiziranjem Likovih indeksa i modelovane starosti i metaličnosti. Likovi indeksi izmereni su korišćenjem programa napisanim u tu svrhu pomoću programskog jezika IDL. Starost i metaličnost izračunate su korišćenjem dostupnog programa ULYSS. Ova indeks značajnije koreliše sa metaličnošću galaksija od indeksa gvožđa korišćenog u literaturi. On može poslužiti kao direktan indikator metaličnosti galaksija. Modelovanje površinskog sjaja galaksija urađeno je pomoću dostupnog programa GALFIT, čiji su početni parametri dobijeni programom SEXTRACTOR, sa ciljem izračunavanja dinamičke mase galaksija. Rezultati svih merenja upoređeni su sa postojećim rezultatima.

Testiranjem velikog broja fundamentalnih osobina galaksija primenom korelacione analize, potvrđene su poznate korelacije. Ova analiza poslužila je i za formiranje skupa konačnih parametara za krajnju statističku analizu. Krajnja statistička analiza – metoda osnovnih komponenata primenjena je pomoću procedure `princomp` programskog jezika R. Ovom analizom ispitane su međusobne linearne veze šireg skupa parametara, koji su prethodno testirani i pomoću korelacione analize, kako bi bili odabrani za konačan skup, koji će biti statistički analiziran. Metodom osnovnih komponenata, skup od deset parametara koji predstavljaju fundamentalne osobine galaksija sveden je na tri statistički značajne komponente, dimenzije novog prostora u koji se mogu smestiti galaksije najrazličitijih osobina. Prva komponenta može se identifikovati sa "veličinom", druga sa "izgledom", a treća sa starošću galaksija. Postoji nagoveštaj o četvrtoj komponenti, kojom dominira maksimalna rotaciona brzina galaksija, ali ona nije statistički značajna prema teoremi "donje granice".

Ovim radom su uvedeni novi fundamentalni parametri mereni iz spektroskopije u statističku metodu osnovnih komponenata. Oni su doprineli uvećanju dimenzionalnosti prostora galaktičkih osobina iz prethodnih radova u ovoj oblasti, na morfološki reprezentativnom uzorku galaksija. Samim tim, dat je doprinos razumevanju galaksija u lokalnom Univerzumu.

## Naučni radovi iz oblasti istraživanja prezentovanog u disertaciji

1. Samurović, S.; Vudragović<sup>1</sup>, A.; Jovanović, M., 2015, *Dark matter and MOND dynamical models of the massive spiral galaxy NGC 2841*, **MNRAS**, **451**, 4073,
2. Lalović, A., 2010, *Calculation of Velocity Dispersion of the Nearby Galaxies Using Different Stellar Template Libraries*, **Serb. Astron. J.**, **180**, 57,
3. Samurović, S., Lalović, A., 2011, *The Jeans modeling of the Milky Way galaxy: implications of the kinematics of the stellar halo*, **A&A**, **531**, 82.

Kandidatkinja ima još jedan rad vezan za disertaciju, koji se nalazi na recenziji u vodećem međunarodnom časopisu:

Vudragović<sup>1</sup>, A., Samurović, S., Jovanović, M., 2016, *Full Stellar Kinematical Profiles of Central Parts of Nearby Galaxies*, **A&A** (na recenziji).

## Ostali naučni radovi kandidatkinje

1. Samurović, S.; Vudragović<sup>1</sup>, A.; Jovanović, M.; Ćirković, M. M., 2014, *Low Dark Matter Content of the Nearby Early-Type Galaxy NGC 821*, **Serb. Astron. J.**, **188**, 29,
2. Lalović, A.; Ćirković, M. M., 2008, *Minihalo Model for the Low-Redshift Lyman alpha Absorbers Revisited*, **Serb. Astron. J.**, **176**, 37,
3. Ćirković, M. M., Damjanov, I., Lalović, A., 2006, *H<sub>2</sub> and HD Absorption Lines and the Cosmic Ray Flux in High-Z Galaxies*, **Baltic Astron.**, **15**, 571,
4. Vince, I.; Lalović, A., 2005, *Characteristics of the Belgrade Astronomical Observatory's Stellar Spectrograph*, **Serb. Astron. J.**, **171**, 55.

---

<sup>1</sup>Kandidatkinja je promenila prezime udajom u Vudragović 2011. godine.

## Zaključak i predlog

Doktorska disertacija pod nazivom "*Spektroskopska i fotometrijska analiza bliskih galaksija različitih morfoloških tipova*" mr Ane Lalović predstavlja celovito naučno delo. Problematika koja se razmatra izložena je struktorno, sa jasnim imeniteljem. Iako poglavlja disertacije daju nezavisna merenja različitih parametara, ona sadrže osvrt na značaj i primenu u konačnoj analizi, što ih povezuje u celinu. Kandidatkinja je pokazala široko poznavanje različitih oblasti astrofizike, služeći se podjednako uspešno alatima u spektroskopskoj i fotometrijskoj analizi galaksija, kao i statističkim aparatom koji koristi u disertaciji, ali i veliki nivo kreativnosti. Rezultati disertacije predstavljaju značajan naučni doprinos istraživanju postanka i evolucije galaksija. Iz naučne oblasti kojom se bavi u svojoj disertaciji, kandidatkinja je objavila, samostalno i kao koautor, 3 rada u međunarodnim časopisima na SCI listi, od kojih su 2 objavljena u vodećim međunarodnim časopisima. Napominjemo da je jedan rad kandidatkinje (pored nabrojana 3 rada), na kome je zasnovano celo jedno poglavlje disertacije, još uvek na recenziji u vodećem međunarodnom časopisu.

Stoga, predlažemo Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta da prihvati ovaj izveštaj i pozitivnu ocenu doktorske disertacije "*Spektroskopska i fotometrijska analiza bliskih galaksija različitih morfoloških tipova*" mr Ane Lalović i odredi komisiju za njenu odbranu.

Beograd, 10.06.2016. godine

Komisija:

---

dr Slobodan Ninković,  
naučni savetnik,  
Astronomska opservatorija

---

dr Srđan Samurović,  
viši naučni saradnik,  
Astronomska opservatorija

---

dr Dragana Ilić,  
docent,  
Matematički fakultet