

**Nastavno-naučnom veću  
Matematičkog fakulteta  
Univerziteta u Beogradu**

Odlukom Nastavno-naučnog veća Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu donetoj na sednici održanoj 23.01.2015. godine imenovani smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije „Ispitivanje elemenata galaktocentričnih orbita zvezda tankog diska iz Sunčeve okoline varijacijom oblika potencijala Galaksije“ kandidata Milana Stojanovića, diplomiranog matematičara. Posle pregledanja podnetog rukopisa podnosimo sledeći

## **IZVEŠTAJ**

### **1. Biografija kandidata**

#### **Lični podaci:**

Ime i prezime: Milan (Ratko) Stojanović  
Datum rođenja: 15.03.1984.  
Zvanje: istraživač saradnik, Astronomska opservatorija Beograd  
Adresa: Boljevačka 65, Jakovo, Beograd  
Elektronska adresa: milans@gmail.com

#### **Obrazovanje:**

Milan Stojanović rođen je u Ivanjici, gde je pohađao Gimnaziju i maturirao 2002. godine. Iste godine upisao se na Matematički fakultet u Beogradu na smer profesor matematike i informatike. Diplomirao je sa prosečnom ocenom 8.16. Odmah po završetku redovnih studija 2009. godine počeo je da radi kao profesor matematike u osnovnoj školi "Ilija Birčanin" u Zemun Polju i upisao je doktorske studije na Katedri za astronomiju i astrofiziku Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu kao student budžeta Republike Srbije. Položio je sve ispite sa prosečnom ocenom 9.1.

#### **Radno iskustvo i naučno-istraživački rad:**

Na projektu (176011) čiji je realizator Astronomska opservatorija u Beogradu radi od februara 2011. godine.

Naučno-istraživački rad Milana Stojanovića odvija se u dve oblasti. Prva je izučavanje zvezdane astronomije u kojoj je težište rada teorijsko istraživanje mesne kinematike Mlečnog puta. Druga je izučavanje dvojnih i višestrukih zvezdanih sistema u kojoj se bavi posmatračkim radom, obradom podataka i njihovom analizom. Do sada je više puta učestvovao u CCD posmatranjima na Astronomskoj stanici na Vidojevici i jednom na Nacionalnoj opservatoriji Rožen u Bugarskoj. Učestvovao je na međunarodnim konferencijama u Malagi (Španija), Leskovcu i Beogradu. Bio je član Lokalnog organizacionog komiteta na tri konferencije, na XVI, XVII i XVIII Nacionalnoj konferenciji astronoma Srbije, na međunarodnoj konferenciji „Future science with metre class telescopes“ i na "Second Belissima Workshop: first light of the Milankovic telescope". Bio je aktivan u radu Nacionalnog astronomskog olimpijskog komiteta i njegov je sekretar od septembra 2011. godine do septembra 2014. godine. Angažovao se prilikom instalacije i puštanja u rad 60 cm teleskopa i 1.4 m teleskopa "Milanković" na Astronomskoj stanici na Vidojevici. Kao mentor je učestvovao na Studentskoj astronomskoj praksi na Vidojevici organizovanoj od strane Matematičkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu i Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu od 2012-2016. godine. Do sada je objavio četiri rada u časopisima sa SCI liste, od toga dva rada u vrhunskom međunarodnom časopisu kategorije M21 kao i još 11 naučnih i stručnih radova u ostalim časopisima. Objavio je i jednu monografiju iz oblasti istorije nauke.

## **2. Predmet i sadržaj disertacije**

Predmet ovog rukopisa je određivanje elemenata orbita oko središta naše Galaksije (u daljem tekstu koristi se naziv Mlečni put) za zvezde iz Sunčeve okoline. Da bi se odredili ovi elementi treba da je poznata sila pod čijim dejstvom se zvezde kreću, kao i početni uslovi. Sila je gravitacija, ona je potencijalna, što znači da treba da je poznat potencijal Mlečnog puta, preciznije njegova zavisnost od koordinata. U načelu za potencijal Mlečnog puta se prihvata da je stacionaran i obrtno simetričan. Posledica ovih osobina su zakoni održanja energije i jedne komponente momenta količine kretanja. Zvezde iz Sunčeve okoline pružaju mogućnost da se načine dobri uzorci jer za velik broj njih poznate su (mogu se naći u bazama podataka) sve fazne koordinate, tj. koordinate (dva ugla za pravac i heliocentrično rastojanje) i sve tri komponente heliocentrične brzine, i to sve te veličine sa zadovoljavajućom tačnošću, na primer, heliocentrična rastojanja određena trigonometrijskim metodom. Da bi se za svaku zvezdu odredili položaj i brzina u odnosu na središte Mlečnog puta potrebno je još znati: rastojanje Sunca do središta Mlečnog puta, komponente njegove brzine u odnosu na tzv. mesni standard mirovanja i vrednost kružne brzine za Sunčevo rastojanje do središta Mlečnog puta u ravni simetrije Mlečnog puta. Stoga, postupak zahteva odabir zvezda i pronalaženje pogodnog metoda

koji treba da, s obzirom na ne mali broj ulaznih parametara, gde svaki unosi svoju grešku, maksimalno pojednostavi postupak koji vodi cilju (v. naredni odeljak).

### **3. Naučni cilj disertacije**

Cilj ovog rukopisa je da se dođe do što tačnijih i jasnijih granica za odnos apsolutnih vrednosti Ortovih konstanata. Odnos Ortovih konstanata već duže vremena predstavlja problem u smislu nedovoljno tačnog poznavanja te vrednosti. S druge strane, postoje poteškoće sa neposrednim određivanjem ovog odnosa na osnovu odnosa kvadrata svojstvenih brzina (epiciklična formula) s obzirom da proučavanje Mlečnog puta unutar zapremine znatno veće od Sunčeve okoline ukazuje na znatno složeniju situaciju u vezi sa odnosom Ortovih konstanata. Ovaj odnos jednoznačno odgovara nagibu zavisnosti kružne brzine od rastojanja do središta Mlečnog puta. Takođe, deo ulaznih parametara čiji uticaj nije minimalizovan, može da bude podvrgnut dodatnoj analizi.

### **4. Hipoteze od kojih se polazi**

Osnovna hipoteza je, kao što je napred rečeno, da se zvezde Mlečnog puta kreću u polju potencijalne sile pri čemu potencijal ne zavisi eksplicitno od vremena (stacionarno stanje) i od položajnog ugla (obrtna simetrija). Dalje, u odabiru zvezda će se nastojati da to budu zvezde tankog diska, i to patuljci sa glavnog niza, nalik Suncu. U bazama podataka navedene su mnoge takve zvezde. Za njih je moguće odvojeno razmatranje kretanja u odnosu na rastojanje do ose simetrije i položajnog ugla od kretanja normalno na ravan simetrije. Tako se na jednostavan način, zasnovano na poznatim zakonima održanja mogu odrediti dva elementa orbite, recimo srednje rastojanje i ekscentričnost, čija je raspodela od interesa.

### **5. Metode koje se koriste u istraživanju**

Za zvezde tankog diska ekscentričnost orbite je mala, bliska nuli. U vezi s tim poznata je tzv. epiciklična aproksimacija. Međutim, primena ove aproksimacije skopčana je sa teškoćama jer se bitni parametri orbite odnose na srednje rastojanje, a to se razlikuje od zvezde do zvezde.

Jednostavnije da se unutar intervala, čije granice čine najmanje u skupu minimalnih rastojanja zvezda do središta Mlečnog puta i najveće u skupu maksimalnih rastojanja zvezda do središta Mlečnog puta, usvoji dovoljno jednostavan model za potencijal, s obzirom da taj interval, kod zvezda tankog diska, ne može biti širok. Skup polaznih formula postoji u literaturi, ali ih je potrebno prilagoditi za ovaj rad i za primenu na računaru. Na ovaj način broj ulaznih parametara se minimalizuje, tako da na tačnost dobijenih rezultata praktično utiču samo podaci iz baza, a parametri modela mogu da se menjaju. Tako se na pogodan način može ispitati njihov uticaj na raspodelu orbitnih elemenata.

## **6. Struktura disertacije i kratak prikaz**

Rukopis ima 181 stranicu raspoređenih na sledeći način: *xiii* + 104 (Sadržaj) + 64 (Dodatak).

Koristi 67 bibliografskih jedinica i ima sledeću strukturu:

1. Uvod
2. Teorijska osnova
3. Podsystemi Galaksije u blizini Sunca
4. Aproksimacije za okolinu Sunca
5. Analiza tankog diska i rezultati
6. Rezime i zaključci

uz rezime (na srpskom i engleskom jeziku), sadržaj, dodatak, biografiju i priloge.

U prvom, uvodnom poglavlju dat je pregled relevantnih tema i radova obrađenih u narednim poglavljima i dat je opis sadržaja teze. Predstavljen je i osvrt na kataloge koji su korišćeni u dosadašnjoj literaturi, ali i u ovoj tezi.

U drugom poglavlju data je teorijska osnova svih termina i pojmova koji su dalje korišćeni u tezi. Detaljno je opisano kretanje zvezda u gravitacionom polju Mlečnog puta i diskutovana je separabilnost i semiseparabilnost potencijala i primena. Za rešavanje problema kretanja zvezda po skoro kružnim orbitama postoji nekoliko prilaza. Neki od njih su linearno harmonijsko oscilovanje i epiciklična aproksimacija koji su ovde objašnjeni.

U trećem poglavlju pažnja je usmerena na podsisteme naše galaksije, kao i na načine na koje je moguće odrediti dinamičke konstante i dati su predlozi rešenja za probleme njihovog određivanja.

U četvrtom poglavlju detaljno je opisana procedura za račun ekscentričnosti koja do sada nije bila korišćena u literaturi. Pokazano je da se elementi orbita zvezda tankog diska Mlečnog puta uspešno mogu izračunati primenom skraćenog postupka koji sadrži aproksimaciju stepenog zakona za kružnu brzinu. Zatim je predstavljen i jedan model Mlečnog puta, koji je detaljno opisan u tezi. Obe procedure su implementirane kroz računarski program koji je objašnjen u narednoj sekciji i priložen u dodatku.

U petom poglavlju prvo je opisan način na koji je urađena selekcija zvezda tankog diska. Urađeno je istraživanje na tu temu sa veštačkim uzorcima. Za formiranje takvih uzoraka koriste se poznate raspodele disperzija za komponente brzina haloa, tankog i debelog diska. Pokazani su rezultati selekcije zvezda kinematičkim pristupom, tj. koje su očekivane vrednosti udela svakog od podsistema, posebno kada se radi o zvezdama iz okoline Sunca. Na osnovu ovih podataka pristupljeno je daljoj analizi. U narednoj sekciji opisan je prvi katalog koji je korišćen, dati su parametri kataloga, zatim je urađen račun ekscentričnosti i u istom poglavlju data je i analiza i dobijeni rezultati. Pokazano je da računanje ekscentričnosti uz napomenute aproksimacije odlično odgovara ekscentričnostima dobijenim iz trodimenzionih orbita. U sledećoj sekciji korišćen je dosta veći katalog na kojem je urađena takođe kinematička selekcija zvezda, a zatim i podela uzorka na poduzorke kako bi se odredile dinamičke konstante. Neki od bitnijih rezultata su: određivanje epiciklične učestanosti u ravni Galaksije, kao i epiciklične učestanosti duž normale na galaktičku ravan, komponenta heliocentrične brzine  $V_0$  i odnos apsolutnih vrednosti Ortovih konstanti i Kuzminova konstanta. Kada su svi ovi parametri poznati, dalje se mogu odrediti i ugaona brzina, kružna brzina za položaj Sunca i gustina Mlečnog puta u blizini Sunca. Prilikom analize rezultata ovog kataloga uočena je i izračunata kinematička razlika brzina.

U šestom poglavlju dat je sumirani prikaz sadržaja disertacije i opisani su mogući pravci u daljem radu na ovoj temi.

U dodatku dat je računarski program napisan od strane kandidata koji je u korišćen za sva potrebna izračunavanja u disertaciji.

Spisak literature se sastoji od 67 bibliografskih jedinica.

## 7. Objavljeni radovi

Rezultate prikazane u ovom rukopisu kandidat je publikovao u četiri rada od kojih je jedan samostalni i tri koautorska. Dva rada su publikovana u časopisima na SCI listi kategorije M23:

1. R. Cubarsi, M. Stojanović, S. Ninković – Eccentricity Samples: Implications on the Potential and the Velocity Distribution, Serbian Astronomical Journal, vol 194, pp. 33-50, (2017), (ISSN 1450-698X, **M23**, IF2016=0.529)
2. M. Stojanović – A Simplified Approach to Kinematics of Stars in Solar Neighbourhood, Serbian Astronomical Journal, vol 191, pp. 75-80, (2015), (ISSN 1450-698X, **M23**, IF2015=0.429)
3. S. Ninković, M. Stojanović and Z. Cvetković – On the Kinematics of Stars from the Solar Neighbourhood - Cases Of The Two Disc Components, Publication of the Astronomical Society "Rudjer Boskovic" No 12, p.297-301, (2013), (ISBN:978-86-89035-02-5, **M63**)
4. S. Ninković, Z. Cvetković and M. Stojanović – Motions of Halo Stars in the Solar Neighbourhood, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, No. 91, p.163-167, (2012), (ISSN:0373-3742, **M63**)

### Ostali objavljeni radovi:

5. R. Pavlović, Z. Cvetković, S. Boeva, O. Vince and M. Stojanović – CCD Measurements of Double and Multiple Stars at Nao Rozhen and ASV in 2011. Five Linear Solutions - Astronomical Journal, 146, 52 (7pp), (2013) (**M21**, IF2013=4.052)
6. Z. Cvetković, R. Pavlović, S. Ninković and M. Stojanović – System ADS 48: Visual Binary or Multiple System - Astronomical Journal, 144, 80 (8pp), (2012) (**M21**, IF2012=4.965)
7. Z. Cvetković, G. Damljanović, R. Pavlović, O. Vince, I.S. Milić and M. Stojanović – Focal Length Determination for the 60 cm Telescope at ASV - Serbian Astronomical Journal, 184, pp.97-104, (2012) (**M24**)
8. Lukić, D.; Stojanović, M.; Martinović, N.; Bogosavljević, M.; Smolić, I.; Acković, B. - Astro-Climate: Astronomical Station Vidojevica - Future Science with Metre-Class Telescopes, Belgrade, Serbia, September 18-21, 2012, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, No. 92, pp. 181-184 (2013) (**M33**)
9. Pavlović, R.; Cvetković, Z.; Stojanović, M.; Vince, O. - From the First CCD Measurements of Double Stars at Vidojevica Towards Speckleinterferometry - Future

Science with Metre-Class Telescopes, Belgrade, Serbia, September 18-21, 2012, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 92, pp. 77-82 (2013)(M33)

10. Martinovic, N.; Jurkovic, M.; Stojanovic, M.; Vince, O.; Bogosavljevic, M. - Future Robotic observatory on Mountain Vidojevica: site and equipment specification - Second Workshop on Robotic Autonomous Observatories, June 5-10, 2011, Malaga, Spain, Astronomical Society of India Conference Series, Vol. 7, 2012, p. 187 (2012) (M33)
11. Radovanac Milan, Milan Stojanović -- Milutin Milanković i Astronomska opservatorija u Beogradu, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade No. 95, p. 1-149, (2016) (M43)
12. Slobodan Ninković, Milan Stojanović, Jurković M. - High-Precision Studies of RR Lyrae Stars - Communications from the Konkoly Observatory, p. 175-178, (2016) (M52)
13. G. Damljanović, F. Taris, G. Latev and M. Stojanović - OBSERVATIONS AT THE 60 cm ASV TELESCOPE AND THE LINK GAIA CRF - ICRF, Proceedings of the IX Bulgarian-Serbian Astronomical Conference: Astroinformatics, Sofia, Bulgaria, July 2-4, 2014, Publ. Astron. Soc. "Rudjer Boskovic" No 15, p.165-170, (2015) (M63)
14. Stojanovic, M.; Pavlovic, R.; Cvetkovic, Z.; Vince, O. - First Visual Measurements of Double Stars at Vidojevica - XVI National Conference of Astronomers of Serbia, 10-12 October 2011, Belgrade, Serbia, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 91, pp. 169-174 (2012) (M63)
15. Jovanovic, M.; Stojanovic, M.; Martinovic, N.; Bogosavljevic, M.; Smolic, I.; Ackovic, B. - Astronomical Station Vidojevica: Astro-Climate - XVI National Conference of Astronomers of Serbia, 10-12 October 2011, Belgrade, Serbia, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 91, pp. 83-88 (2012) (M63)
16. Wyrzykowski, L.; Campbell, H. C.; Kuposov, S.; Ulaczyk, K.; Damljanovic, G.; Vince, O.; Pavlovic, R.; Cvetkovic, Z.; Stojanovic, M.; Busutil, R.; Kolb, U.; Bochinski, J.; Burwitz, V.; Haswell, C.; Rodriguez, J.; Harding, J. -- MULTIBAND PHOTOMETRIC FOLLOW-UP OF ASASSN-13aw (SN 2013dr), The Astronomer's Telegram, No. 5245, 08/2013, ATEL, Bibliographic Code: 2013ATel.5245....1W, (2013)

## 7. Zaključak i predlog

Predložena tema predstavlja bitan doprinos rešavanju problema svojstava polja gravitacije Mlečnog puta u blizini Sunca, pogotovu pitanja odnosa Ortovih konstanata.

Na osnovu svega navedenog, kako su ispunjeni i svi formalni uslovi, predlažemo da se rukopis: „Ispitivanje elemenata galaktocentričnih orbita zvezda tankog diska iz Sunčeve okoline varijacijom oblika potencijala Galaksije” Milana Stojanovića prihvati kao doktorska disertacija iz astronomije i astrofizike i da se odredi komisija za javnu odbranu.

U Beogradu, 26.07.2017.

**Komisija:**

---

Dr Slobodan Ninković, naučni savetnik - mentor

---

Dr Nadežda Pejović, red. prof.

---

Dr Rafael Cubarsi, vanred. prof.  
Department of Applied Mathematics IV Technical University of Catalonia (UPC)

---

Dr Bojan Novaković, docent