

# SEMINARSKI RAD

## Tema: Mira Ceti

Student: Slobodan Opsenica  
Matematički fakultet, Beograd

Smer: astrofizika

Broj indeksa: 24/06

### 1. Uvod

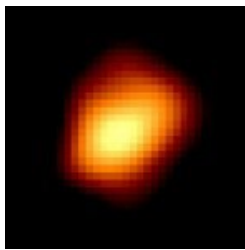
Mira Ceti (Omicron Ceti, Omikron Kita) je jedna od najpoznatijih promenljivih zvezda i predstavnik jedne posebne klase promenljivih zvezda - mirida. Mira je dvojni sistem koji čine Mira A (promenljivi crveni džin) i Mira B (prema novijim istraživanjima narandžasti patuljak). Prema merenjima satelita Hipparcos, udaljena je 418 svetlosnih godina (oko 130 parseka). Za Miru je karakteristično da je za vreme jednog dela svog perioda nevidljiva, a tokom ostatka perioda vidljiva golim okom.<sup>[1]</sup> Mira, kao i ostale promenljive zvezde iz njene klase, posebno je interesantna astronomima amaterima, zbog velikih promena u sjaju.<sup>[2]</sup> Proučavanje Mire, kao i promenljivih zvezda uopšte, je važno za bolje razumevanje strukture i evolucije zvezda.<sup>[10]</sup> Takođe, proučavanje Mire je značajno i za razumevanje procesa u zvezdama koje se nalaze u poodmakloj evolutivnoj fazi.

### 2. Istorijski osvrt na posmatranja

Zvezdu je otkrio nemački astronom i sveštenik David Fabricijus 3. avgusta 1596. godine, dok je posmatrao Merkur, a pri čemu mu je bila potrebna referentna zvezda. On je primetio zvezdu treće magnitude u sazvežđu Kita koja nije bila ucrtana u zvezdane karte. Sjaj joj je zatim porastao za jednu magnitudu do 21. avgusta, a u oktobru je iščezla iz vidokrug. Fabricijus je smatrao da je u pitanju nova. Ponovo ju je uočio 16. februara 1609. godine. Nemački astronom Bajer ucrtava ovu zvezdu u svoj zvezdani atlas "Uranometrija" kao zvezdu četvrte magnitude i obeležava je sa Omikron Ceti (omikron je 15. slovo u grčkom alfabetu). Godine 1638. holandski astronom Facilid, prilikom posmatranja pomračenja Meseca, uočava u sazvežđu Kita zvezdu kojoj prati promene sjaja i zaključuje da je to zvezda koju je otkrio Fabricijus, a ucrtao Bajer. Facilid prvi uočava periodičnost u promenama sjaja ove zvezde, a njegove procene su govornile da je period oko 11 meseci. Poljski astronom, mehaničar i optičar Jan Hevelijus daje ovoj zvezdi ime Mira, što na latinskom znači "čudesna", zbog svog neobičnog ponašanja. Godine 1667. francuski astronom Bulialdus objavljuje posmatranja Mire, a iz svojih i ranijih posmatranja procenjuje period promene sjaja od oko 333 dana. Ovo je bila vrlo dobra procena ako znamo period iz savremenih merenja koji iznosi 332 dana, a takođe i uzmemo u obzir činjenicu da je ta vrednost blago promenljiva od ciklusa do ciklusa. Takođe, ni maksimum sjaja nije jedinstven za svaki ciklus. Postoje indicije da je zvezda bila primećena mnogo ranije od strane kineskih i korejanskih astronoma, ali to je samo u sferi spekulacija.<sup>[1]</sup>

### 3. Mira A

Glavna komponenta u ovom dvojnog sistemu je Mira A, crveni džin koji se na Hercšprung-Raselovom dijagramu nalazi na takozvanoj "asimptotskoj grani džinova" (engl. "Asymptotic Giant Branch", skraćeno "AGB"<sup>1</sup>).<sup>[1]</sup> Mira A je pulsirajuća promenljiva zvezda čiji sjaj varira između 2.0 i 10.1 u prividnim magnitudama, a spektralna klasa od M6IIIe do M9IIIe, mada se za njenu spektralnu klasu uglavnom uzima M7IIIe<sup>2</sup> (u srednjem).<sup>[1][7]</sup> Spektar je specifičan po apsorpcionim linijama titanovog oksida i sjajnim emisionim linijama vodonika, a najveći deo zračenja Mira izrači u infracrvenom delu spektra.<sup>[1][5]</sup> Promene sjaja se dešavaju u toku perioda od 331.96 dana, a za to vreme se površina zvezde širi i skuplja. Zvezda je veoma velikih dimenzija i veoma je sjajna. Radijus joj iznosi oko 650 miliona kilometara, što znači da kada bi se nalazila na mestu Sunca, progutala bi orbitu Marsa. Apsolutna zvezdana veličina joj je 0.93, masa 1.18 Sunčevih masa, luminoznost oko 5000 Sunčevih luminoznosti, temperatura oko 3000 stepena kelvina, a starost joj se procenjuje na oko 6 milijardi godina.<sup>[1][7]</sup> Posmatranja sa svemirskog teleskopa Hابل pokazala su da je Mira A, kao i neke druge zvezde njenog tipa (npr. R Leonis i W Hydrae), očigledno jajastog oblika (slika 1).<sup>[7]</sup> Takođe je primećeno da se oblik vremenom menja.<sup>[1]</sup> Moguće je da je to izazvano dramatičnim promenama tokom ciklusa širenja i skupljanja, ili još nerazjašnjenim svetlim pegama na zvezdanoj površini.<sup>[9]</sup> Mira A je vrlo nestabilna zvezda, i zbog svoje veličine i nestabilnosti ona putem snažnog zvezdanog vetra brzo gubi masu.<sup>3</sup> Zvezda se približava poslednjim stadijumima života, a pretpostavlja se da će završiti kao beli patuljak okružen planetarnom maglinom.<sup>[7]</sup>



**Slika 1.** Jajast oblik Mire A snimljen teleskopom Hابل u vidljivoj svetlosti (slika preuzeta iz [7]).

Komponenta Mira A je predstavnik klase dugoperiodičnih promenljivih zvezda pulsirajućeg tipa - mirida, i najsajjnija je među njima.<sup>[7]</sup> Ove promenljive zvezde su karakteristične po tome što su u pitanju hladni crveni džinovi spektralnih klasa Ke, Me, Se ili

---

<sup>1</sup>Na asimptotskoj grani džinova se nalaze evoluirane zvezde u rasponu od malih do srednjih masa (od 0.4 do 10 masa Sunca) koje imaju mirno jezgro od ugljenika i kiseonika, okruženo slojem u kojem sagoreva helijum, a koji je pak okružen slojem u kojem sagoreva vodonik. Ova grana se nalazi iznad regiona crvenih džinova i približno je paralelna sa njim. Treba napomenuti da zvezde sa ove grane u stvari ne pripadaju grani crvenih džinova, mada je uobičajeno da se nazivaju crvenim džinovima jer su velikih dimenzija i crvene su boje.<sup>[6]</sup>

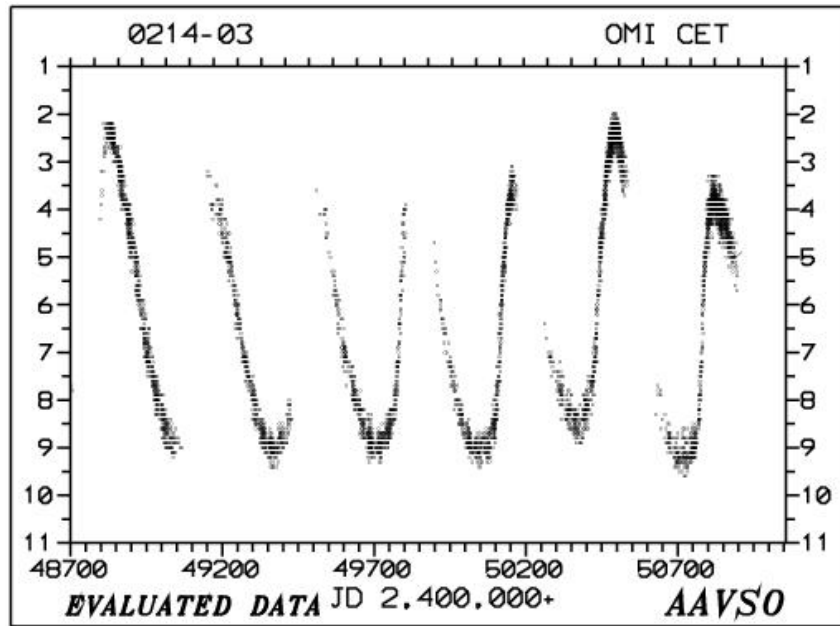
<sup>2</sup>Oznaka "e" znači da spektar zvezde sadrži emisione linije.

<sup>3</sup>Stopa kojom promenljive zvezde tipa Mira Ceti (miride) gube masu iznosi između  $10^{-7}$  i  $10^{-6}$  Sunčevih masa godišnje.<sup>[8]</sup>

Ce (sa molekularnim trakama), sa periodima promene sjaja između 80 i 1000 dana, i amplitudama od 2 do 10 magnituda.<sup>[8][10]</sup> Procene govore da ove zvezde imaju mase manje od dve mase Sunca, ali s obzirom na njihove ogromne dimenzije, mogu biti sjajnije od Sunca i hiljadama puta.<sup>[2]</sup> Njihove promene sjaja se objašnjavaju periodičnim pulsiranjem spoljnih slojeva veoma razređenih zvezdanih atmosfera.<sup>[5]</sup> Ovo izaziva promene temperature duž radijusa, a oba faktora dovode do promena u luminoznosti. Period pulsacija je funkcija mase i radijusa zvezde.<sup>[2]</sup> Mehanizam pulsiranja mirida nije još razjašnjen, za razliku od promenljivih zvezda cefeida, za koje je prihvaćen takozvani "mehanizam ventila". Ipak, postoje pretpostavke da se i pulsiranje mirida može objasniti "mehanizmom ventila", s tim što kod mirida ulogu ventila (tj. sloja promenljive prozračnosti) igra sloj sačinjen od molekularnog vodonika, dok je kod cefeida u pitanju sloj jonizovanog helijuma. Mehanizam ventila može se opisati na sledeći način. Pretpostavimo da zvezda sadrži određeni sloj promenljive prozračnosti, koji pripada spoljnim slojevima zvezde, i neka njegova prozračnost zavisi od temperature na sledeći način: što je manja temperatura sloja to je veća prozračnost, i obrnuto. Neka se zvezda nalazi u fazi širenja. Njeni spoljni slojevi se šire, što dovodi do njihovog hlađenja. Samim tim hladi se i sloj promenljive prozračnosti, pa njegova prozračnost raste, tako da zvezda tada brže i lakše zrači svoju energiju. To će posle određenog vremena zaustaviti širenje i pod dejstvom gravitacije zvezda će početi da se sažima. Prilikom sažimanja zvezde dolazi do sabijanja gasa, koji se greje, a samim tim se zagreva i sloj promenljive prozračnosti, čija prozračnost ponovo opada, tako da zračenje privremeno biva "zarobljeno" u njemu. Zbog toga se gas zagreva brže, što uzrokuje njegovo ponovno širenje. Na ovaj način se održavaju ciklusi širenja i skupljanja. Kod cefeida je sloj promenljive prozračnosti sačinjen od jonizovanog helijuma, čiji stepen jonizacije zavisi od temperature: na nižim temperaturama je helijum jedanput jonizovan, što uzrokuje veću prozračnost, a na višim dvaput, što sloj čini neprozračnijim. Postoje određene pretpostavke, kao što je gore već pomenuto, da je kod mirida sloj promenljive prozračnosti sačinjen od molekularnog vodonika.<sup>[3]</sup>

Jedna od karakteristika mirida su i udarni talasi. U atmosferama pulsirajućih crvenih džinova javljaju se udarni talasi koji putuju ka spolja, s tim što se jedan udar proizvodi u toku jednog ciklusa pulsacija. Atmosfera je mnogo proširenija nego u slučaju statičkog crvenog džina, a na svakom udarnom talasu gustina opada skokovito za faktor koji zavisi od brzine dotičnog udara.<sup>[11]</sup>

Do sada je otkriveno preko 6000 mirida.<sup>[1]</sup> Kod njih se mogu uočiti neravnomernosti u promenama sjaja.<sup>[2]</sup> U slučaju Mire, sjaj prosečno dostiže oko 3.5 prividne magnituda, što je tada svrstava među sjajnije zvezde u sazvežđu Kita. Pojedinačni ciklusi promene sjaja se razlikuju među sobom. Najveći pouzdano potvrđeni maksimum je 2.0, a najmanji 4.9 u prividnim magnitudama, što čini odnos u luminoznosti od skoro 15. Postoje neke istorijske indicije da taj odnos može biti i 3 puta veći. Što se tiče minimuma, on je varirao između 8.6 i 10.1 u prividnim magnitudama, što je odnos 4 u luminoznostima. Odnos luminoznosti u apsolutnom maksimumu i apsolutnom minimumu iznosi 1700. Ako se pogleda kriva sjaja Mire, vidi se da pojačavanje sjaja traje oko 100 dana, a zatim slabljenje traje duplo duže (slika 2).<sup>[1]</sup>



**Slika 2.** Kriva promene sjaja Mire (slika preuzeta sa <http://www.aavso.org/images/1298lc.gif>).

Posmatranja Mire u ultraljubičastom delu spektra pomoću teleskopa Galex pokazala su da ova zvezda iza sebe vuče "rep" dužine 13 svetlosnih godina, formiran tokom poslednjih 30000 godina, koji potiče iz njenog spoljnog omotača (slika 3).<sup>[1][4]</sup> Veruje se da je rep sačinjen od materijala koji je Mira jednom izbacila u okolni prostor, kroz koji se kreće ogromnom brzinom od 130 kilometara u sekundi, što se takođe vezuje za pojavu repa.<sup>[4]</sup>



**Slika 3.** Rep koji Mira ostavlja iza sebe snimljen u ultraljubičastom delu spektra pomoću teleskopa Galex (slika preuzeta sa [http://th.physik.uni-frankfurt.de/~scherer/Blogging/Mira/Mira\\_FullPanorama\\_s.jpg](http://th.physik.uni-frankfurt.de/~scherer/Blogging/Mira/Mira_FullPanorama_s.jpg)).

#### 4. Mira B

Iako je džinovska zvezda Mira poznata oko 400 godina, astronomi su morali da sačekaju da teleskop Hابل obezbedi prve ultraljubičaste snimke proširene atmosfere hladnog crvenog džina i njegove bliske komponente.<sup>[9]</sup> Ova komponenta dvojnog sistema otkrivena

je pomoću teleskopa Habi 1995. godine, a rezultati su objavljeni 1997. godine.<sup>[1]</sup> Rastojanje između komponenata u sistemu iznosi oko 70 astronomskih jedinica, što odgovara uglavnom rastojanju od samo 0.6 lučnih sekundi. Orbitalni period ovog dvojnog sistema je oko 400 godina. Mira B, koja je poznata i pod imenom VZ Ceti, i sama je promenljiva zvezda koja menja sjaj između 9.5 i 12 prividnih magnituda, međutim njena promenljivost je vrlo komplikovana: spore promene sjaja sa periodom od oko 13 godina kombinovane su sa brzim minutnim fluktuacijama i povremenim bljeskovima u trajanju od nekoliko minuta.<sup>[4]</sup> Ranije se smatralo da je u pitanju beli patuljak, ali novija posmatranja govore da je u pitanju zvezda glavnog niza spektralnog tipa K koja ima oko 0.7 Sunčevih masa.<sup>[1]</sup>



**Slika 4.** Mira A (žuto, desno) gubi materijal (zeleno) koji odlazi ka disku (crveno) oko Mire B (plavo, levo) (slika preuzeta iz [7]).

Snimci u ultraljubičastom delu spektra sa teleskopa Habi i u X području sa teleskopa Čandra pokazali su da postoji spiralno pretakanje gasa sa Mire A prema Mire B.<sup>[1]</sup> Nepravilna promenljivost Mire B je verovatno u vezi sa ovom akrecijom materije iz zvezdanog vetra Mire A. Zbog ove akrecije dvojni sistem Mira može da se smatra takozvanom "simbiotskom zvezdom" (engl. "*symbiotic star*"). Godine 2007. izvršena su posmatranja koja su pokazala da postoji protoplanetarni disk oko Mire B. Ovaj disk je nastao akrecijom materijala iz zvezdanog vetra sa Mire A i iz njega bi se eventualno, posle određenog vremena, mogle formirati planete. Iako je formiranje planeta vrlo malo verovatno dok god se disk nalazi u fazi aktivne akrecije, moguće je da se planete ipak počnu formirati nakon

što Mira A prođe fazu džina i postane beli patuljak. Štaviše, ako se planete formiraju, imaće na raspolaganju široku paletu sirovina neophodnih za život, uključujući i ugljenik. Disk oko Mire B sadrži manju količinu materijala nego Jupiter. Međutim, verovatno je da će količina materije narasti na između tri i pet masa Jupitera, pre nego što se završi proces akrecije - grubo govoreći, ovo je masa potrebna da se formira planetni sistem kao naš.<sup>[7]</sup>

## 5. Zaključak

Mira je interesantna zvezda, sa relativno dugom istorijom posmatranja, koja je astronomima uvek privlačila pažnju. Ipak, još uvek postoji dosta toga nerazjašnjenog u vezi sa njom, tako da će ona i dalje biti predmet mnogobrojnih istraživanja, kao i ostale dugoperiodične promenljive zvezde. Razvojem posmatračke tehnike u novije vreme, dobili smo mogućnost da detaljnije istražimo dvojni sistem koji čine Mira A i Mira B, što nam je dalo novi uvid u to na koje sve načine mogu da se formiraju protoplanetarni diskovi, i eventualno planete.

## Literatura

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Mira>
2. [http://en.wikipedia.org/wiki/Mira\\_variable](http://en.wikipedia.org/wiki/Mira_variable)
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Variable\\_star](http://en.wikipedia.org/wiki/Variable_star)
4. <http://spider.seds.org/spider/Vars/mira.html>
5. <http://static.astronomija.co.rs/dubokisvemir/galaksija/zvezde/Mira/mira.htm>
6. <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AGB.html>
7. <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Mira.html>
8. [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Mira\\_variable.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Mira_variable.html)
9. <http://www.xs4all.nl/~carlkop/mirahu.html>
10. Vukićević-Karabin, M., Atanacković-Vukmanović, O.: 2004, *Opšta astrofizika*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd
11. Wood, P. R.: 1990, *Mira variables - Pulsation, mass loss and evolution*, Mount Stromlo and Siding Spring Observatories, Canberra, Australia