

---

Marija Stojanović

## Određivanje nastanjive zone u tesno dvojnim sistemima

---

*Jedno od značajnih pitanja moderne astrofizike predstavlja potraga za mestima pogodnim za život, izvan planete Zemlje. Ovaj rad se bavi određivanjem nastanjivih zona, mesta na kojima je moguće postojanje života, u okolini tesno dvojnih sistema, koji su izabrani zbog svoje brojnosti i bliskosti komponenata. Tri uslova koji određuju postojanje nastanjivih zona – dinamički, radijativni i plimski, primenjeni su korišćenjem Phyton koda na bazu tesno dvojnih sistema, gde je od ukupno 247 dvojnih sistema kod čak 233 ustanovljeno postojanje nastanjive zone, čime je potvrđen značaj ovakvih sistema u razmatranju potencijalnih mesta na kojima se javlja život. Zaključeno je da je najdiskriminativniji uslov upravo plimski, kao i da najviše utiče na niže spektralne klase zvezda (G, K, i M), dok su kod zvezda klase O i B pronađene nastanjive zone često na veoma velikim udaljenostima od samog sistema. U radu je obrađen i tesno dvojni sistem NN Ser, kod koga su već detektovane dve planete – obe van nastanjive zone. Očekuje se da ovaj sistem, koji ima disk prašine u svom okruženju, sadrži još planeta, koje bi se možda mogle naći u nastanjivoj zoni.*

---

### Uvod

Pitanje nastanka vanzemaljskog života izazivalo je veliko interesovanje i u periodu pre otkrića prvih ekstrasolarnih planeta. Danas, kada je poznato da postoji više od tri hiljade ekstrasolarnih planeta (Schneider), posebna pažnja posvećuje se istraživanju njihove nastanjivosti. Za planetu se kaže da može biti nastanjiva, to jest da se na njoj može razviti život nalik životu na Zemlji, ukoliko se ona nalazi u nastanjivoj zoni oko svoje matične zvezde ili zvezdanog sistema. Sama nastanjiva zona nema striktnu definiciju. Postoje dva osnovna uslova za koje se autori slažu da je neophodno da ih planeta ispunjava da bi se nalazila u nastanjivoj zoni. Jedan je radijativni uslov, koji zahteva da na planeti može opstati tečna voda. Drugi je dinamički uslov, koji zahteva da planeta ima stabilnu orbitu tokom dovoljno dugog vremenskog perioda potrebnog da se razvije život. Dalje se kriterijum nastanjivosti može pooštriti dodavanjem drugih uslova.

---

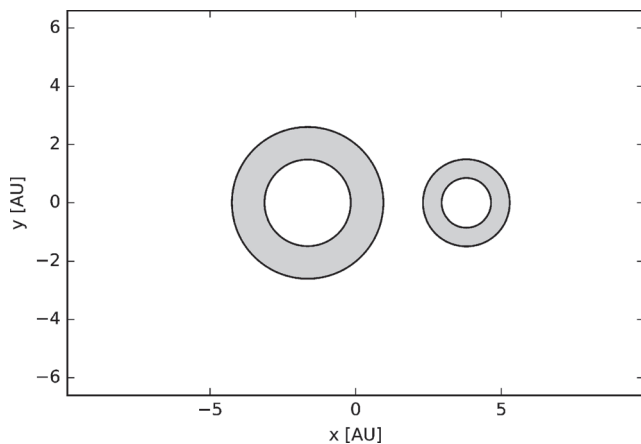
*Marija Stojanović  
(1999), Beograd, Grge  
Jankesa 8, učenica 3.  
razreda XIV beogradske  
gimnazije*

*MENTORI:*

*Jovana Petrović,  
Prirodno-matematički  
fakultet Univerziteta u  
Novom Sadu*

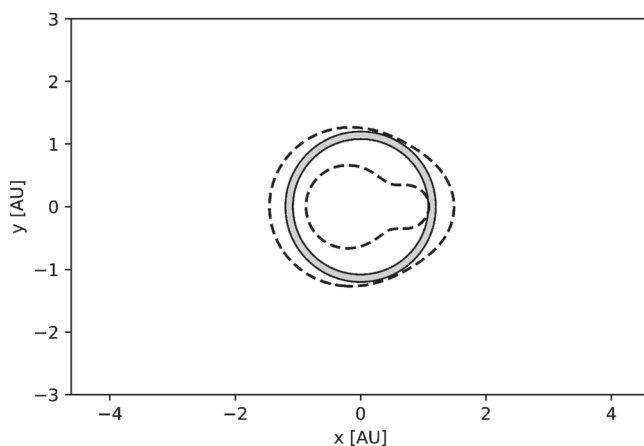
*Nikolina Milanović,  
student Matematičkog  
fakulteta Univerziteta u  
Beogradu*

U potrazi za potencijalnim mestima za nastanak života, važno je uzeti u obzir dvojne sisteme. Veliki broj zvezda pripada dvojnim ili višestrukim sistemima. Na primer, u okolini Sunca 50% poznatih zvezda pripada ovoj grupi usled čega su veoma značajna kategorija za istraživanje (Vukićević-Karabin i Atanacković 2010). Nastanjiva zona kod dvojnih sistema se može javiti u obliku cirkumstelarne i cirkumbinarne zone (Jaime *et al.* 2014). Cirkumstelarna nastanjiva zona podrazumeva da se nastanjiva planeta može naći u orbiti oko jedne od zvezda pojedinačno (slika 1), dok cirkumbinarna nastanjiva zona podrazumeva da se nastanjiva planeta može naći u orbiti oko zajedničkog centra mase, unutar koje su pozicionirane obe zvezde (slika 2).



Slika 1. Ilustracija cirkumstelarnih nastanjivih zona (osenčeni region)

Figure 1. Circumstellar habitable zone (grayed region)



Slika 2. Ilustracija cirkumbinarne nastanjive zone (osenčeni region)

Figure 2. Circumbinary habitable zone (grayed region)

U ovom radu razmotreno je postojanje nastanjive zone u tesno dvojnim sistemima, jer se zbog bliskosti komponenti može očekivati da će njihove nastanjive zone najviše ličiti na nastanjivu zonu oko usamljene zvezde. Pored toga, razmotreno je koliko bi na nastanjivost planete uticalo plimsko zaključavanje, ukoliko se kao isključujući uslov postavi to da planeta ne bude plimski zaključana tokom vremenskog perioda dovoljno dugog da na njoj uspe nastati život.

# Teorijsko objašnjenje metoda

## Radijativni uslov

Radijativni uslov definiše region u kome može da opstane tečna voda i može se zapisati na sledeći način:

$$I_o \leq I \leq I_i \quad (1)$$

gde je  $I$  fluks u datoj tački,  $I_o$  granični spoljašnji fluks na kome može da postoji tečna voda, a  $I_i$  granični unutrašnji fluks na kome može da postoji tečna voda. Temperatura na kojoj može da opstane tečna voda obuhvata raspon od 273 do 373 K. Temperatura zavisi od luminoznosti zvezde i rastojanja na kome se planeta nalazi, to jest od fluksa zračenja koji stiže do planete. Ukoliko zanemarimo uticaj atmosfere planete, na osnovu zakona održanja energije važi:

$$I_{o,i} = \frac{4\sigma T_{o,i}^4}{1-A} \quad (2)$$

pri čemu je  $\sigma$  Šrefan-Bolcmanova konstanta, a  $A$  albedo planete. Iz navedene jednačine se, unošenjem graničnih temperatura  $T_{o,i}$ , mogu odrediti granične vrednosti fluksa  $I_{o,i}$  (spoljašnjeg ili unutrašnjeg).

U ovom radu se razmatraju samo orbite planeta sa nultom ekscentričnošću, pa je radi jednostavnosti uzeto da sve bezbedne zone koje se uzimaju u obzir imaju oblik prstena. Zato se bezbedna zona računa kao prostor između najveće kružnice koja može da se upiše unutar krive spoljašnjeg graničnog fluksa i najmanje kružnice koja može da se opiše oko krive unutrašnjeg graničnog fluksa.

Kod sistema sa jednom zvezdom fluks je konstantan u bilo kojoj tački sfere poluprečnika  $r$  koja okružuje zvezdu, dok to nije slučaj sa dvojnim sistemima. To se dešava usled postojanja dva izvora sjaja, pa fluks u nekoj tački u kojoj se nalazi planeta zavisi od položaja planete u odnosu na obe zvezde. Usled aditivnosti, ukupan fluks u nekoj tački moguće je izračunati pomoću sledeće relacije (Jaime *et al.* 2014):

$$I(x, y) = L_t \cdot \left[ \frac{1 - \lambda_s}{(x - x_p)^2 + y^2} + \frac{\lambda_s}{(x - x_s)^2 + y^2} \right] \quad (3)$$

gde je  $L_t$  ukupna luminoznost sistema,  $\lambda_s$  udeo sekundarne zvezde u ukupnoj luminoznosti,  $x$  i  $y$  koordinate tačke u kojoj se određuje fluks,  $r_p$  udaljenost primarne zvezde od centra mase, a  $r_s$  udaljenost sekundarne zvezde od centra mase. Ovde je koordinatni sistem postavljen tako da se orbita nalazi u  $x$ - $y$  ravni, zvezde se nalaze na  $x$ -osi, a koordinatni početak je smešten u centru mase. Udaljenost primarne i sekundarne zvezde od centra mase može se izraziti preko sledećih relacija, koje slede iz definicije centra mase:

$$r_p = -\frac{M_s}{M} \cdot r_{12}$$

$$r_s = -\frac{M_p}{M} \cdot r_{12} \quad (4)$$

gde je  $r_{12}$  udaljenost između zvezda,  $M_s$  masa sekundarne zvezde,  $M_p$  masa primarne zvezde, a  $M$  ukupna masa sistema. Ukoliko  $r_p$  i  $r_s$  izrazimo u jedinicama  $r_{12}$  i uvedemo smenu  $q = \frac{M_s}{M}$ , dobija se:

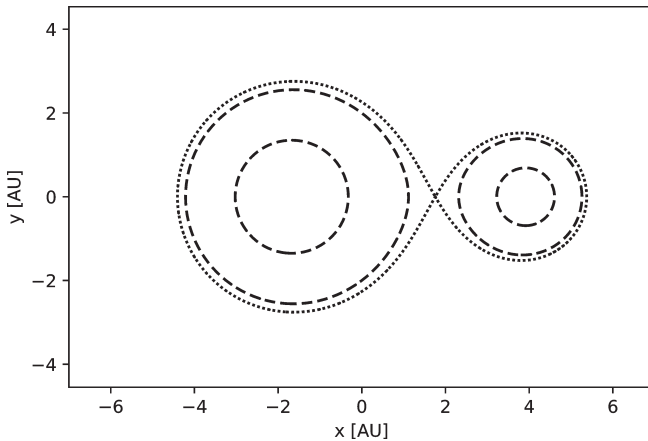
$$\eta_p = -q \quad (5)$$

$$\eta_s = 1 - q \quad (6)$$

Kombinacijom relacija (3), (5) i (6) dobija se fluks u nekoj tački prostora, koji je izražen u jedinicama  $L_i/r_{12}$ :

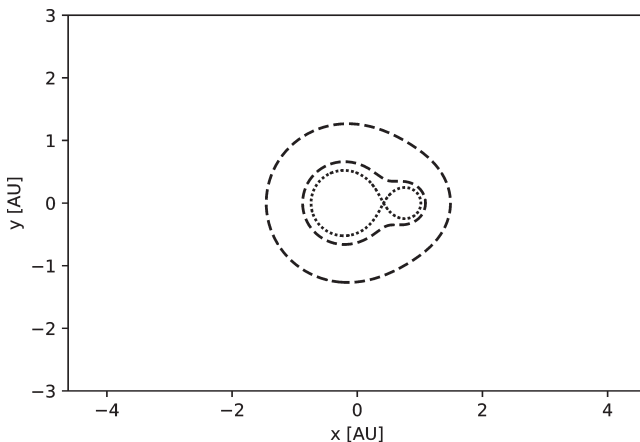
$$I(\eta_p, \eta_s) = \frac{1 - \lambda_s}{(\eta_x - \eta_p)^2 + \eta_y^2} + \frac{\lambda_s}{(\eta_x - \eta_s)^2 + \eta_y^2} \quad (7)$$

gde je sa  $\eta_i$  obeležena relativna udaljenost od centra mase izražena u  $r_{12}$ , pri čemu je  $i = p, s, x, y$ .



Slika 3. Ilustracija krivih graničnih fluksseva (isprekidane linije) koje se nalaze unutar kritične krive (tačkasta linija)

Figure 3. Boundary flux curves (dashed lines) inside the critical curve (dotted line)



Slika 4. Ilustracija krivih graničnih fluksseva (isprekidane linije) koje se nalaze izvan kritične krive (tačkasta linija)

Figure 4. Boundary flux curves (dashed lines) outside the critical curve (dotted line)

Na slikama 3 i 4 mogu se videti izoplete (linije koje spajaju tačke sa istom vrednošću fluksa) graničnih flukseva, obeležene isprekidanom linijom. Takođe, na slikama postoji izopleta obeležena tačkastom linijom nakon koje, kada povećamo fluks (približimo se centru), dolazi do odvajanja izoplete koja okružuje obe zvezde na dve krive oko pojedinačnih zvezda. Izopleta nakon koje dolazi do odvajanja jedne krive na dve naziva se izopleta kritičnog fluksa. Fluks koji odgovara toj krivoj računa se kao (Jaime *et al.* 2014):

$$I_c(\lambda) = \frac{(1-\lambda_s)^{\frac{1}{3}} + \lambda_s^{\frac{1}{3}}}{(1-\lambda_s)^{\frac{2}{3}} - \lambda_s^{\frac{1}{3}}(1-\lambda_s)^{\frac{1}{3}}} \quad (8)$$

U zavisnosti od odnosa graničnih flukseva i kritičnog fluksa postoje tri konfiguracije bezbedne zone: Konfiguracija I ( $I_o > I_c$ ), Konfiguracija II ( $I_i > I_c > I_o$ ) i Konfiguracija III ( $I_c > I_i$ ). Sve tri konfiguracije prikazane su na slici 5.



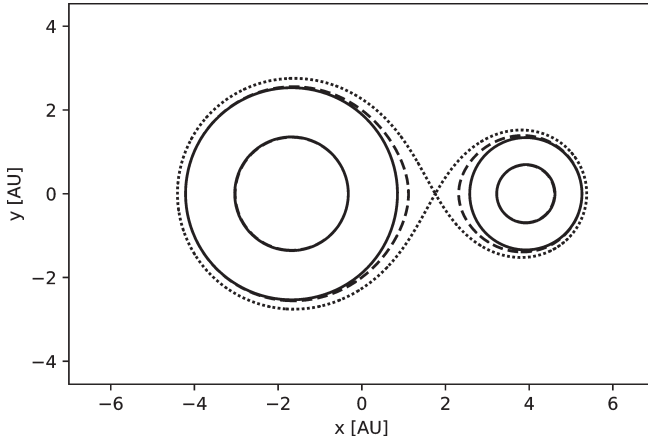
Slika 5. Ilustracija konfiguracija – sivom bojom prikazana je bezbedna zona (Jaime *et al.* 2014)

Figure 5. Configurations with safe zones (grayed region) (Jaime *et al.* 2014)

**Konfiguracija I.** U slučaju konfiguracije I imamo dve cirkumstelarne bezbedne zone, tako da je moguće postojanje samo cirkumstelarnih nastanjivih zona. Rešavanjem sledeće jednačine moguće je izračunati preseke granične krive sa  $x$ -osom. Ovu jednačinu moguće je dobiti kada se u jednačinu (7) uvrsti  $\eta_y = 0$  i kada se posmatrana zvezda postavi u koordinatni početak (Jaime *et al.* 2014):

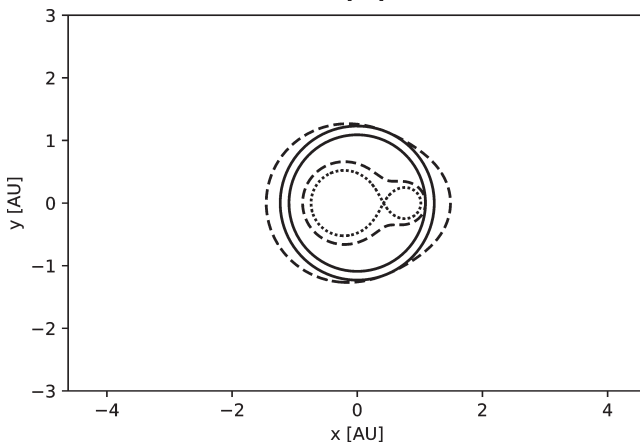
$$I_{o,i} \cdot r_{o,i}^4 - 2I_{o,i} \cdot r_{o,i}^3 + (I_{o,i} - 1) \cdot r_{o,i}^2 + 2\lambda_s r_{o,i} - \lambda_s = 0 \quad (9)$$

gde je  $r_{o,i}$  udaljenost do granične orbite nastanjive zone. S obzirom na to da je jednačina (9) polinom četvrtog stepena, za svaki od graničnih flukseva dobijaju se četiri rešenja, tj. preseka sa  $x$ -osom. Kombinacijom rešenja za svaki fluks dobija se poluprečnik granične kružne orbite, spoljašnje  $r_o$  ili unutrašnje  $r_i$ . Prikaz ove konfiguracije dat je na slici 6.



Slika 6. Ilustracija bezbedne zone (region između isprekidanih linija) i graničnih orbita (pune linije) za konfiguraciju I. Tačkasta linija predstavlja kritičnu krivu.

Figure 6. Safe zone (region between dashed lines) and boundary orbits for configuration I (full lines) and critical curve (dotted line)



Slika 7. Ilustracija bezbedne zone (region između isprekidanih linija) i graničnih orbita (pune linije) za konfiguraciju III. Tačkasta linija predstavlja kritičnu krivu.

Figure 6. Safe zone (region between dashed lines) and boundary orbits for configuration III (full lines) and critical curve (dotted line)

**Konfiguracija III.** Kod ove konfiguracije (slika 7) planeta se može naći na bezbednoj orbiti samo oko zajedničkog centra mase. Poluprečnik spoljašnje bezbedne orbite računa se kao (Jaime *et al.* 2014):

$$r_{ob} = \frac{1}{I_0} \sqrt{\frac{A_1 + A_2}{2q(1-q)}} \quad (10)$$

gde su:

$$A_1 = 2(I_o q(q-1))^2 + I_o (1-2q)^2 \sqrt{\lambda_s q(\lambda_s - 1)(q-1)} \quad (11)$$

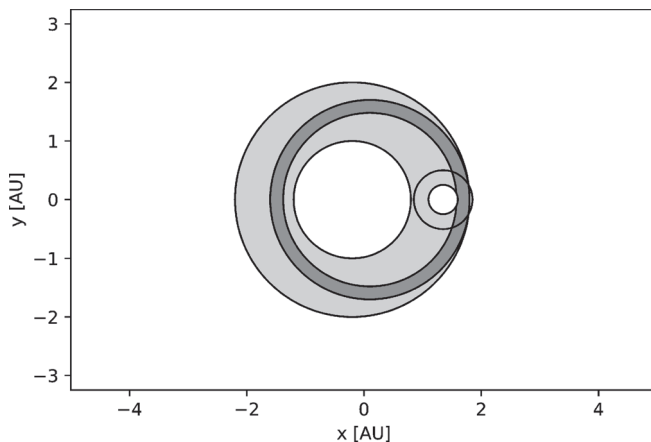
$$A_2 = I_o q(q-1) \sqrt{\frac{\lambda_s(\lambda_s - 1)}{q(q-1)}} - 2[q(1-2\lambda_s) + \lambda_s - 1] \quad (12)$$

Prethodno navedene jednačine određuju najmanju udaljenost  $d$  do centra mase do krive graničnog spoljašnjeg fluksa. Do njih se može doći tako što se jedna od koordinata, na primer  $x$ , smeni u jednačini (7) pomoću relacije udaljenosti  $d = \sqrt{x^2 + y^2}$ . Time se dobija udaljenost u funkciji od  $y$ . Izjednačavanjem izvoda dobijene funkcije po  $y$  sa nulom dobijaju se koordinate tačke na krivoj koja je najmanje udaljena od centra mase. Traženi po-

luprečnik spoljašnje bezbedne orbite je zapravo  $d$ . Poluprečnik unutrašnje orbite računa se tako što se u jednačinu (9) uvrsti unutrašnji granični fluks.

**Konfiguracija II.** Ova konfiguracija je kombinacija prethodna dva slučaja. Na slici 8 predstavljene su sve bezbedne zone za konfiguraciju II. Svetlije osenčeni region predstavlja cirkumstelarnu bezbednu zonu, a tamnije osenčeni region cirkumbinarnu bezbednu zonu.

Unutrašnje i spoljašnje granice cirkumstelarne bezbedne zone računaju se analogno unutrašnjim i spoljašnjim granicama u konfiguraciji I. Kod cirkumbinarne bezbedne zone, unutrašnja orbita se traži tako što se unutrašnji granični fluks uvrsti u jednačinu (9). Spoljašnja granica se traži na isti način kao i u konfiguraciji III korišćenjem jednačine (10).



Slika 8. Ilustracija svih bezbednih zona za konfiguraciju II

Figure 8. Safe zones for configuration II

## Dinamička stabilnost

Drugi ključni uslov da bi nastao život, pored tečne vode, je postojanje orbite planete koja je stabilna dovoljno dug vremenski period. Jedan od načina proveravanja dinamičke stabilnosti orbite podrazumeva numeričku simulaciju sistema, gde je potvrda o stabilnosti ograničena na period trajanja date simulacije. Drugi pristup, koji se može primeniti kod dvojnih sistema se zasniva na invarijantnim petljama (engl. invariant loops) u faznom prostoru koje predstavljaju generalizaciju integrala kretanja. Ovakav pristup nema praktična ograničenja, kao što je vreme trajanja numeričke simulacije, i stabilnost petlji se garantuje dokle god se orbitalni parametri sistema ne menjaju (slučaj idealnog, izolovanog dvojnog sistema) (Jaime *et al.* 2014). To je pogodno jer se procenjuje da je maksimalno vreme neophodno za razvitak života reda veličine Gyr (Grießmeier *et al.* 2009).

U pristupu zasnovanom na invarijantnim petljama, kada kod sistema postoji bezbedna zona oko zvezde, spoljašnja dinamički stabilna orbita se određuje koristeći sledeću jednačinu (Jaime *et al.* 2014):

$$R_i = 0.073 \cdot R_i^{Egg} a(1-e)^{1.2} q^{0.07} \quad (13)$$

gde je  $R_i$  poluprečnik spoljašnje dinamički stabilne orbite,  $i$  indeks koji se odnosi na zvezdu (primarna  $i = 1$ , sekundarna  $i = 2$ ),  $a$  velika poluosa sistema,  $e$  ekscentricitet orbite, a  $R_i^{Egg}$  Egeltonova aproksimacija za maksimalni poluprečnik kruga unutar Rošovog ovala (region oko zvezde u dvojnog sistema u kojem je materija gravitaciono vezana za zvezdu i njegova veličina zavisi od mase zvezde). Ukoliko planeta ima poluprečnik orbite manji od  $R_i$ , njena orbita je stabilna.

Ukoliko postoji bezbedna zona oko obe zvezde, primenjuje se sledeća jednačina (*ibid.*):

$$R_{CB} = 1.93a(1 + 1.01e^{0.32})(q(q-1))^{0.43} \quad (14)$$

gde je  $R_{CB}$  poluprečnik unutrašnje, dinamički stabilne orbite. Ukoliko planeta ima poluprečnik orbite veći od  $R_{CB}$ , njena orbita je stabilna. Egeltonova aproksimacija data je sledećom jednačinom (*ibid.*):

$$R_i^{Egg} = \frac{0.49aq^{\frac{2}{3}}}{0.6q_i^{\frac{2}{3}} + \ln(1 + q_i^{\frac{1}{3}})} \quad (15)$$

gde je  $q_1 = \frac{M_p}{M_s}$ , a  $q_2 = \frac{M_s}{M_p}$ .

## Plimsko zaključavanje

Pored dinamičkog i radijativnog uslova, koji se standardno javljaju u literaturi kao neophodni za nastanjivost planete, indikativno je proveriti kako će još neki uslovi koji su česta pojava u svemiru uticati na nastanjivost. U ovom radu smo kao dodatni uslov razmatrali plimsko zaključavanje koje podrazumeva izjednačavanje perioda revolucije sa periodom rotacije u sistemu dva (ili više) tela. Najjednostavniji primer iz naše okoline je sistem Zemlja-Mesec. U slučaju dvojnih sistema oko kojih kruži planeta, plimsko zaključavanje podrazumeva sinhronizaciju revolucije i rotacije, takvu, da je jedna strana planete uvek okrenuta matičnim zvezdama (osunčana), dok je druga u stalnom mraku.

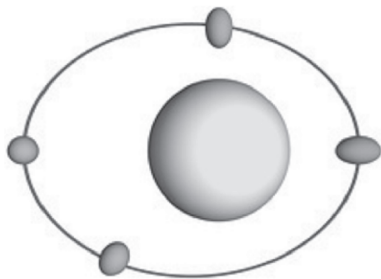
Kako je svetlost sa matične zvezde jedan od neophodnih uslova za razvitak kompleksne hemije, a posledično i života na planeti, otvoreno je pitanje koliko bi na nastanjivost uticao slučaj kada je planeta plimski zaključana. Istorijски gledano, plimsko zaključavanje smatralo se *a priori* nepoželjnim za nastanak života (Barnes 2017). Videćemo u odeljku o rezultatima, da ono ne mora nužno biti diskriminatorski uslov. Da bismo razmeli sve finese vezane za plimsko zaključavanje, morali bismo da uradimo detaljnu analizu klimatskih uslova, magnetnog polja kao i mogućnosti stvaranja oblaka, što u ovom radu nije bilo moguće zbog kompleksnosti. Zbog toga smo pristupili sa istorijски motivisane perspektive, te je uvedena sledeća aproksimacija – planete koje su plimski zaključane smatramo teško nastanjivim tj. nenastanjivim. Skrećemo pažnju čitaocu, da bi za kompletnu sliku nastanjivosti, a u svetlu plimskog zaključavanja, bilo poželjno izvršiti



detaljniju analizu koja uključuje efekte klime, magnetnog polja, kosmičkog zračenja i sl.

Plimsko zaključavanje je pojava prouzrokovana delovanjem plimskih sila masivnijeg tela na manje masivno. Radi lakšeg objašnjavanja zvezda će predstavljati masivnije telo, dok će manje masivno biti planeta.

Da bismo razumeli plimsko zaključavanje, potrebno je prethodno razmotriti sam proces plimske evolucije (slika 9). Gravitaciona sila zvezde koju planeta oseća razlikovaće se na različitim tačkama njene površine, kao i na različitim tačkama njene orbite, zbog ekscentričnosti. Usled neelastičnosti unutrašnje strukture planete, doći će do zakasnele deformacije materijala od kojeg je planeta sačinjena u odnosu na delovanje gravitacione interakcije, što će se odraziti na oblik ekvipotencijalne površine planete. Ovaj oblik zavisi od karakteristika materijala od kog je planeta sačinjena. Slična stvar se dešava i obliku zvezde, te usled ovakve konfiguracije dolazi do ispoljavanja nentralnosti interakcije između planete i zvezde, što kao posledicu ima pojavu momenata sila. Momenti sile uzrokuju razmenu ugaonog momenta između rotacionog momenta zvezde i orbitalnog momenta planete, dok ukupni moment impulsa ostaje održan zbog odsustva spoljašnjeg perturbatora (Pater i Lissauer 2001).



Slika 9. Prikaz plimskog delovanja masivnijeg tela na manje masivno

Figure 9. Tidal impact of more massive on less massive body

Smer plimske evolucije tj. razmene momenta impulsa će zavistiti od odnosa rotacije zvezde i srednjeg kretanja planete. U slučaju kada je rotaciona brzina zvezde veća od srednjeg kretanja planete, velika poluosa planete raste a brzina rotacije zvezde se smanjuje, dok se u suprotnom velika poluosa planete smanjuje, a brzina rotacije zvezde povećava. Evolucija traje sve dok više nema razmene momenta impulsa odn. kada je planeta plimski zaključana.

Za početak, analiziraćemo samo jednu zvezdu. Ugaono ubrzanje tela zavisi od momenta sile i momenta inercije, i dato je sledećom jednačinom:

$$\dot{\Omega} = \frac{M_f}{I} \quad (16)$$

gde je  $M_f$  moment sile, a  $I$  moment inercije. Moment sile kojim zvezda izaziva pomenutu promenu oblika orbitirajućeg tela moguće je izraziti na sledeći način (Goldreich i Soter 1965):

$$M_f = \frac{9GM^2 R_{pl}^5}{4Q_p R_\tau^6} \quad (17)$$

gde je  $M$  masa zvezde,  $R_\tau$  rastojanje na kome će se planete zaključati za vreme  $\tau$ ,  $Q_p$ , modifikovani disipacioni parametar za planetu,  $G$  gravitaciona konstanta,  $R_{pl}$  poluprečnik planete. Kombinujući jednačine (16), (17) kao i relaciju  $I = \alpha M_{pl} R_{pl}^2$ , gde je  $\alpha$  u ostatku rada koeficijent pri izračunavanju momenta inercije (uzeto je  $\alpha = 2/5$ , kao za sferu) i  $M_{pl}$  masa planete, dobija se:

$$\dot{\Omega} = \frac{9GM^2 R_{pl}^5}{4Q_p R_\tau^6} \quad (18)$$

Vremenska skala za plimsko zaključavanje tela dobija se poređenjem razlike frekvencije rotacija i ugaonog ubrzanja, odnosno (Grießmeier *et al.* 2008):

$$\tau = \frac{\omega_i - \omega_f}{\dot{\Omega}} \quad (19)$$

gde je  $\tau$  vreme za koje će planeta zaključati,  $\omega_i$  inicijalna frekvencija rotacije, a  $\omega_f$  krajnja frekvencija rotacije.

U slučaju kada planeta obilazi oko usamljene zvezde, rastojanje (poluprečnik orbite) na kome će se planeta plimski zaključati za vreme  $\tau$  moguće je odrediti na sledeći način, jednačinom koja se dobija kombinovanjem jednačina (18) i (19):

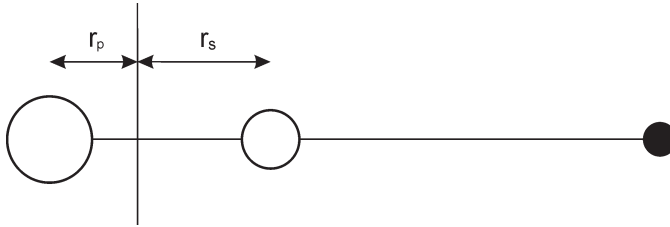
$$\frac{M^2}{R_\tau^6} = \frac{4\alpha Q_p M_{pl} (\omega_i - \omega_f)}{9GR_{pl}^3 \tau} \quad (20)$$

Ukoliko je radijus planete manji od  $R_\tau$  smatramo da je planeta plimski zaključana, odn. da nije nastanjiva. U ovom radu za  $\tau$  je uzeta vrednost od 10 Gyr (Grießmeier *et al.* 2009). Ova vrednost predstavlja procenu maksimalnog vremena potrebnog za nastanak života. Razlog uzimanja ove vrednosti daje najveći mogući uticaj plimskog zaključavanja jer što je  $\tau$  veće to je i  $R_\tau$  veće, pa je veći i broj plimski zaključanih kružnih orbita.

Kada planeta kruži oko dve zvezde, kao što je slučaj kod Konfiguracije II i III, u položaju prikazanom na slici 10, uticaj zvezda na rotaciju planete je maksimalan. Tada obe zvezde gravitaciono privlače planetu u istom smeru. U trenutku kada je sistem u takvom položaju, jednačina (20) se može uopštiti za slučaj dve zvezde:

$$\frac{M_s^2}{(R_t - r_s)^6} + \frac{M_p^2}{(R_t + r_p)^6} = \frac{4\alpha Q_p M_{pl} (\omega_i - \omega_f)}{9GR_{pl}^3 \tau} \quad (21)$$

U ovom radu je, zbog pojednostavljenja računa, pretpostavljeno da će duž cele orbite važiti jednačina (21). Ukoliko se primeni ovakav pristup,



Slika 10. Ilustracija položaja komponenti u sistemu

Figure 10. Position of components in the system

dobija se  $R_\tau$  koje je veće nego što je zaista, što generiše restriktivniji uslov za postojanje na nastanjive zone. Jednačina (21) može se rešiti, ali je za slučaj tesno dvojnih sistema, kada su zvezde blizu jedna drugoj, moguće uvesti još jednu aproksimaciju, gde su dve zvezde masa  $M_p$  i  $M_s$  koje se nalaze na međusobnom rastojanju  $a$  zamenjene jednom zvezdom mase  $M = M_p + M_s$  koja se nalazi u centru mase sistema. Tada jednačina (21) dobija oblik:

$$\frac{(M_p + M_s)^2}{R_\tau^6} = \frac{4\alpha Q_p M_{pl} (\omega_i - \omega_f)}{9GR_{pl}^3 \tau} \quad (22)$$

Ispostavlja se da se vrednost  $R_\tau$  koja se dobija primenom jednačine (21) razlikuje u rasponu od 1% do 4%, ukoliko se kao vrednosti parametara uzmu vrednosti iz baze podataka sa kojom ćemo raditi (dalje u tekstu). Ovu jednačinu je moguće jedino primenjivati u slučaju tesno dvojnih sistema.

Kao što je napomenuto, u sistemu sa jednom zvezdom, na planeti koja je plimski zaključana neće dolaziti do smene dana i noći. Ukoliko imamo slučaj dvojnog sistema u kome planeta orbitira oko jedne zvezde, kao kod konfiguracije I i II, i za nju je plimski zaključana, neće se ispoljiti nemogućnost smene dana i noći. Činjenica da planeta tokom svog kretanja dobija zračenje i sa druge zvezde uslovljava da će u određenim trenucima tamna strana planete ipak biti osvetljena. Zbog toga plimsko zaključavanje u sistemima sa ovakvom konfiguracijom ne bi bilo od značaja jer ne bi izazvalo najvažniji efekat, koji otežava mogućnost formiranja života. Međutim, ispostavlja se da svi obrađeni tesno dvojni sistemi, u našoj bazi podataka, pripadaju konfiguraciji III i da zbog toga možemo govoriti o efektu konstantnog dana, odnosno noći.

## Metod

### Parametri planete

U ovom radu, računat je efekat plimskog zaključavanja kod tesno dvojnih sistema na zemljolike planete, te su za planetu uzeti parametri koji odgovaraju Zemlji (Grießmeier 2007) dati u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri planete

Parametar	Oznaka	Vrednost
Modifikovani disipacioni parametar	$Q_{p'}$	60
Inicijalna frekvencija	$\omega_i$	$5.8 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
Masa planete	$M_{pl}$	$5.97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Poluprečnik planete	$R_{pl}$	6371 km
Albedo planete	$A$	0.3

Planeta u trenutku kada se plimski zaključa ima određenu frekvenciju, koja se naziva krajnja frekvencija. Moguće ju je izračunati korišćenjem sledeće jednačine, koja se može izvesti iz III Keplerovog zakona (*ibid.*):

$$\omega_f = \sqrt{\frac{(M_p + M_s)G}{R_t^3}} \quad (23)$$

Kada se sve konstante i jednačina (23) uvrste u jednačinu (20) odnosno (22), dobija se jednačina šestog stepena. Od šest rešenja, samo jedno je realno i ono se uzima kao vrednost poluprečnika orbite na kojoj će se planeta zaključati.

## Implementacija

U prethodnim poglavljima navedene su jednačine za određivanje orbita planeta koje zadovoljavaju različite kriterijume. One su primenjene na podatke o tesno dvojnim sistemima. Za obrađivanje podataka napisan je kod u programskom jeziku Python. U ovoj sekciji ukratko je opisan način rada koda. Podaci su preuzeti iz astronomske baze kataloga Vizier. Korišćena je baza Close double stars (Svechnikov+, 1984). Ova baza sadrži podatke o orbitalnim elementima, masama i luminoznosti tesno dvojnih zvezda. Podaci koji se učitavaju iz baze su ime sistema, mase svake od komponenti sistema, međusobna udaljenost komponenti, bolometrijska magnituda svake od komponenti i spektralna klasa komponenti.

Nakon izdvajanja potrebnih podataka iz baze, postojali su sistemi koji nisu sadržali sve potrebne podatke, te su zbog toga izuzeti. Posle selekcije podataka, preostalo je 247 sistema koji sadrže sve potrebne podatke za obradu. Potom su izračunati određeni parametri sistema, kao što su udeo sekundarne zvezde u masi, sjaj svake od komponentata, udeo sekundarne zvezde u ukupnom sjaju i kritični fluks sistema. Nakon toga je za svaki sistem određena konfiguracija bezbedne/nastanjive zone u zavisnosti od odnosa graničnih flukseva i kritičnog fluksa. Nakon odluke o konfiguraciji, izračunati su poluprečnici graničnih orbita bezbedne zone u zavisnosti od konfuracije.

Kada je određena bezbedna zona, računa se dinamička stabilnost orbite i njeno plimsko zaključavanje. Kada su izračunati svi uslovi koji određuju nastanjivu zonu, prelazi se na konačno odlučivanje o položaju nastanjive zone na osnovu odnosa dobijenih poluprečnika orbita. Nasta-

njiva zona se određuje tako što se uzme bezbedna zona i iz nje se izdvoje svi delovi tog regiona koji ne zadovoljavaju uslove dinamičke stabilnosti i plimskog zaključavanja.

## Rezultati i diskusija

Nakon obrade podataka na opisan način, ispostavilo se da svi razmatrani sistemi pripadaju trećoj konfiguraciji nastanjive zone. Uzrok tome je udaljenost između komponenata sistema, koja je veoma mala, reda veličine  $10^{-3}$  AU –  $10^{-2}$  AU. To zapravo objašnjava zašto je razmatranje nastanjive zone oko tesno dvojnih sistema umnogome slično razmatranju nastanjive zone oko jedne zvezde, te i povećava broj mesta u svemiru na kojima je moguće očekivati pojavu nastanjive zone i potencijalnog života. Planete koje su do sada detektovane i smatraju se potencijalno nastanjivim nalaze se na udaljenostima od  $10^{-2}$  AU do  $10^{-1}$  AU od svojih matičnih zvezda.

U tabeli 2 prikazan je udeo pojedinih spektralnih klasa u ukupnom broju razmatranih zvezda (druga kolona) i u ukupnom broju zvezda koje pripadaju sistemima sa nastanjivom zonom (treća kolona). Od 247 sistema koji su razmatrani, njih 233 ima nastanjivu zonu. Preostalih 14 nema nastanjivu zonu zbog plimskog uticaja, odnosno, potencijalna planeta koja bi se našla u radijativno bezbednoj i dinamički stabilnoj zoni previše brzo bi se plimski zaključala, pa život ne bi stigao da nastane. Među obrađenim podacima nije pronađen sistem gde nije moguće postojanje nastanjive zone zbog dinamičke stabilnosti, jer je vrednost koja se dobija za  $R_{CB}$  uvek veoma mala u odnosu na poluprečnike radijativno bezbedne zone i poluprečnik plimskog zaključavanja. Možemo zaključiti da je dinamički uslov kod tesno dvojnih sistema praktično neisključujući, dok je najstroži kriterijum postojanja nastanjive zone upravo plimski. Ovo je bitan zaključak, utoliko što se do sada, pri razmatranju dvojnih sistema, akcent stavlja na radijativni i dinamički uslov, dok je plimski uslov tek u skorije vreme temeljnije razmatran. Od 233 sistema koji imaju nastanjivu zonu, kod njih 36 orbita plimskog zaključavanja predstavlja unutrašnju orbitu nastanjive zone. Kod ostalih nastanjiva zona je zapravo radijativno bezbedna zona.

Tabela 2. Udeo određene spektralne klase u ukupnom broju zvezda pre i posle određivanja nastanjivih zona

Spektralna klasa zvezde	Udeo u ukupnom broju (%)	Udeo u zvezdama sa nastanjivom zonom (%)
A	23	24.8
F	18	19.2
O	3.8	4.0
M	1.8	0.2
K	10.3	8.6
B	25.8	27.8
G	17.3	15.4

U tabeli 3 može se primetiti da se nakon obrade smanjuje prisustvo sistema koji su kombinacija zvezdâ nižih spektralnih klasa – G, K i M. Kod ovih sistema, teže se stiču uslovi postojanja nastanjive zone nego kod sistema sa zvezdama tipa B ili O. Isključivanje zvezda nižih spektralnih klasa, posebno M patuljaka, u saglasnosti je sa navodima iz literature da se kod njih veoma često javlja plimsko zaključavanje (Peale 1977).

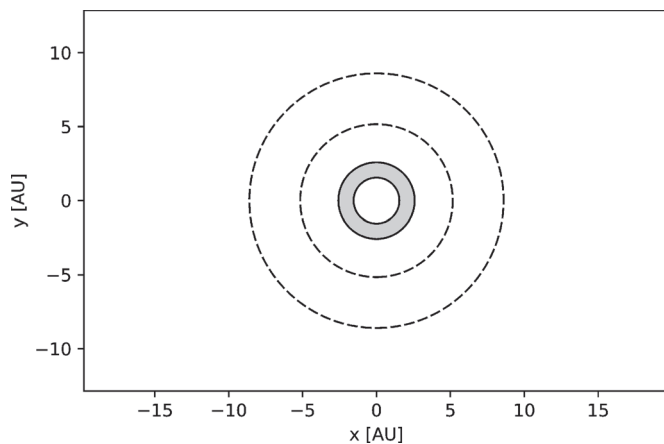
U tabeli 3 takođe se može zapaziti da postoji oko 50 sistema koji sadrže barem jednu zvezdu koja je spektralne klase B ili O. Na osnovu rezultata može se zaključiti da ovi sistemi imaju nastanjivu zonu čija se udaljenost od sistema meri u stotinama astronomskih jedinica. Uzrok tome je sjaj ovih zvezda koji je izrazito veliki, te se radijativno bezbedna zona nalazi na mnogo većim udaljenostima, nego što je slučaj kod manje sjajnih zvezda. U slučaju zvezda tipa O i B nije moguće očekivati, pod pretpostavkama ovog rada, da će se u njihovoj blizini formirati život kakav je na Zemlji, zbog izuzetno kratkog životnog veka zvezda. Kod sistema gde se nastanjiva zona nalazi na ovolikim udaljenostima nameću se pitanja kao što je gravitaciona vezanost planete za sistem. Pored toga, od do sada detektovanih 3572 vansolarnih, samo 33 se nalaze na rastojanjima većim od 100 AU od roditeljske zvezde (Schneider). Činjenica je da, što se planeta nalazi dalje od roditeljske zvezde, odnosno sistema, njena detekcija je teža. Detektovanje planeta, koje se nalaze na rastojanjima od nekoliko stotina AU od matične zvezde/a, sa tehnikama kojima trenutno raspoložemo je izuzetno teško. Zbog toga, kao i zbog toga što se veoma mali broj detektovanih planeta nalazi na tolikim udaljenostima, nastanjive zone na tim udaljenostima moguće je zanemariti bez obzira na spektralnu klasu zvezda i gravitacionu vezanost planete za sistem.

Tabela 3. Pregled kombinacija spektralnih klasa primarne i sekundarne zvezde pre i nakon određivanja nastanjivih zona oko sistema

Prim. – sek. zvezda	Svi sistemi	Sa nastanj. zonom	Prim. – sek. zvezda	Svi sistemi	Sa nastanj. zonom
B – O	1	1	B – G	8	8
O – O	7	7	A – F	17	17
K – G	1	1	G – F	2	2
M – M	3	0	F – G	4	4
O – B	4	4	B – B	43	43
G – M	1	0	B – F	13	13
B – A	16	16	F – F	21	21
K – K	4	0	K – F	3	3
F – K	8	8	A – A	17	17
A – G	26	26	G – G	19	14
B – K	2	2	G – K	7	3
A – K	23	23	F – M	2	1

U prvoj koloni je određena kombinacija zvezda, u drugoj je broj takvih kombinacija među svim razmatranim sistemima, a u trećoj – broj tih kombinacija u sistemima sa nastanjivom zonom

Nakon poređenja baze koja je obrađivana sa bazom podataka o vansolarnim planetama, zaključeno je da ni jedan od razmatranih sistema, za sada, nema pozitivnu detekciju vansolarne planete. S toga je u razmatranje uključeno nekoliko dodatnih sistema kod kojih je snimljeno postojanje vansolarne planete i to su: Kepler 34, Kepler 16, Kepler 35, NN Ser, HV Aqr. Od ovih pet sistema jedino sistem NN Ser ima nastanjivu zonu. Kod ostalih sistema uslov plimskog zaključavanja onemogućava njeno postojanje.



Slika 11. Prikaz sistema NN Ser, gde isprekidane linije predstavljaju orbite otkrivenih planeta, a osenčeni deo predstavlja habitabilnu zonu

Figure 11. System NN Ser with orbits of discovered planets (dashed lines) and habitable zone (grayed region)

Sam sistem NN Ser nalazi se na oko 1670 svetlosnih godina od nas. On je eklipsno, tesno dvojni sistem dva patuljka M i A spektralnih klasa. U ovom sistemu je 2009. godine otkrivena jedna planeta, a 2010. još jedna. Njihove mase prevazilaze mase Super-Zemlje, jer je NN Ser (AB) C dva puta masivnija od Jupitera dok je NN Ser (AB) D čak sedam puta masivnija od Jupitera (Beuermann *et al.* 2010). Takođe, ono što je veoma značajno za ovaj sistem je postojanje diska prašine oko sistema, koji je detektovan ALMA teleskopom. Postojanje diska prašine koji je nastao u fazi zajedničke konverzije je nešto što je očekivano za dvojne sisteme, ali nije bilo zvaničnih potvrda za jedan dvojni sistem sve do aprila 2016. godine, kada je kod NN Ser-a detektovan (Hardy *et al.* 2016). Diskovi prašina do sada su detektovani kod dvojnih sistema koji se nalaze u bilizini glavnog niza, ali koji su znatno mađi od NN Ser-a (Trilling *et al.* 2006). Disk prašine koji je detektovan oko NN Ser sistema ima masu koja iznosi oko 0.8 Zemljinih masa, njegovu veličinu trenutno nije moguće odrediti, ali poznato je da se nalazi unutar 1000 AU (Hardy *et al.* 2016). Disk se lokalizuje tako što se posmatra termalno zračenje prašine. Iako se do sada detektovane planete ovog sistema ne nalaze u nastanjivoj zoni, moguće je potencijalno očekivati detekciju planeta u nastanjivoj zoni, s obzirom da trenutni podaci ostavljaju mogućnost da bi ovo mogao biti protoplanetarni disk sa postojećim planetama ili planetama u fazi nastanka kao i da se nastanjiva zona NN Ser-a nalazi unutar 1000 AU.

Iako se ispostavlja da je u našem razmatranju plimski uslov najdiskriminativniji, važno je napomenuti da se radi o aproksimaciji najnižeg reda, kada ne razmatramo kompleksne uslove koji mogu vladati na planeti, kao što je na primer klima, formacije oblaka, magnetno polje planete i njegov uticaj na kosmičko zračenje i slično. Novija istraživanja pokazuju da ukoliko se uvede model klime sa oblacima takvi sistemi mogu preći iz stanja nenastanjivih u nastanjive. Simuliranjem klime koja se ponaša kao proširena površina (engl. radiator fin) ustanovljeno je da će doći do temperaturne inverzije između dnevne i noćne strane, prenosom suvog vazduha na noćnu stranu, te da će klima ličiti na subtropsku klimatsku zonu na Zemlji. Ovakav pristup povećava broj nastanjivih planeta, a takođe određenim planetama može vratiti status potencijalno nastanjive, jer su one prethodno obrađivane jednostavnijim modelima. Ovo istraživanje odnosi se isključivo na M-patuljke (Yang i Abbot 2014) iz razloga što su oni stabilni i moguće je napraviti klimatski model sa malim brojem parametara koji će u okolini ovako stabilne zvezde omogućiti život. Korišćenjem šema globalnih klimatskih modela sa oblacima pokazuje se da nastanjiva zona kod crvenih patuljaka može biti proširena i dvostruko. Ovi oblaci takođe mogu blokirati izlazno zračenje sa planete, smanjujući ili preusmeravajući razliku u toplotnoj emisiji između dnevne i noćne strane. Prisustvo vodenih oblaka i njihov uticaj na površinu biće moguće detektovati James Webb Space teleskopom (Yang *et al.* 2013).

Pojedini radovi, sa druge strane, ukazuju na to da plimski zaključane planete nemaju standardne periode smene ledenih doba, koji su od suštinskog značaja za nastanak i razvoj života baziranog na ugljeniku. Ove planete će polako prelaziti iz stanja delimične do stanja potpune pokrivenosti ledom, zbog čega je u ovakvim sistemima teško naći aktivan ugljenični ciklus. Postoji mogućnost, međutim, da ukoliko se plimski zaključane planete nalaze blizu spoljašnje granice nastanjive zone i ukoliko imaju nisku emisiju CO<sub>2</sub>, mogu biti u stanju u kome imaju deo koji nije pokriven ledom koji bi omogućio postojanje aktivnog C-ciklusa (Chleclair *et al.* 2017). Očekivalo bi se da može doći do zaleđivanja ogromnih količina na tamnoj strani, te isparavanjana na osunčanoj strani, ali i da do ovog problema neće doći ukoliko ne postoji kopno na planeti, jer će površinski vetrovi transportovati led ka dnevnoj strani, a na noćnu će se transportovati toplota, usled čega se voda može održati na obe strane planete (Yang *et al.* 2014). Još jedan od argumenata koji je bitno razmatrati kada se radi o plimski zaključanim planetama je uticaj magnetnog polja ovakve planete na upadni fluks komičkog zračenja. Naime, kosmički zraci koji su naelektrisane čestice bivaju skrenuti ili reflektovani magnetnim poljem planete, a imaju značajan uticaj na stvaranje i razaranje elemenata u atmosferi i na površini planete, utičući time na njen hemijski sastav, a samim tim i nastanjivost. Plimski zaključane planete imaju manju magnetnu indukciju čime su podložnije uticaju obližnje zvezde i kosmičkom zračenju iste, te to može prouzrokovati potencijalnu nemogućnost podržavanja života (Grießmeier *et al.* 2009).



Iz ovog razmatranja može se zaključiti da je plimsko zaključavanje veoma bitan uslov za proučavanje, jer se ispostavlja kao diskriminatorniji od radijativnog i dinamičkog, a istovremeno i kao kompleksniji od prethodna dva, te zahteva poseban tretman i modeliranje (dodavanje globalne klime, sistema oblaka, razmatranje pojave glacijacije).

## Zaključak

U prethodnom odeljku zaključeno je da u bazi od 247 tesno dvojnih sistema čak 233 imaju nastanjive zone, čime je potvrđena važnost ispitivanja tesno dvojnih pri proučavanju nastanjivih zona i nastanka vansolarnog života. Dodatna motivacija za baš ove sisteme je i izuzetno mala udaljenost među komponentama, što ih čini veoma sličnim sistemima sa jednom zvezdom. Uzimajući u obzir i ove sisteme, pored usamljenih zvezda, pozitivno možemo uticati na statistiku pronalaska nastanjivih zona u vidljivom svemiru.

Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da se pri obradi tesno dvojnih sistema ne sme izuzeti uticaj plimskog zaključavanja, koji se u sličnim razmatranjima često zanemaruje. Plimski uslov je u ovom tretmanu imao najdiskriminatorniju ulogu, pogotovo kod sistema nižih spektralnih klasa kao što su G, K, M. Problem plimskog zaključavanja u okolini zvezda ovih klasa je već zabeležen u literaturi, te je ovim razmatranjem ponovo potvrđen. Pored navedenog, utvrđeno je da se kod nekih sistema zvezda spektralnih klasa O i B nastanjiva zona nalazi na velikim udaljenostima. Toliko izmeštene nastanjive zone u skladu su velikim sjajem zvezda ovih klasa. U ovakvoj konfiguraciji teško je očekivati pozitivnu detekciju planeta u nastanjivoj zoni zbog prevelike udaljenosti od roditeljskih zvezda i problema sa gravitacionom vezanošću za dati sistem.

Konačno, stavljen je akcenat na jedan od dvojnih sistema sa pozitivnom detekcijom planeta – NN Ser, kojem je određena nastanjiva zona. Iako su planete koje su već pronađene locirane van ove nastanjive zone, očekuje se da bi ovaj sistem mogao imati još planeta manje mase, koje bi posebno bilo zanimljivo tražiti upravo u pojasu definisanom nastanjivom zonom.

Kao preporuka za dalji rad predlaže se obrada veće baze podataka kod koje su spektralne klase zvezda ravnomernije zastupljene, da bi se uradila adekvatna statistička analiza i poboljšao kvalitet istraživanja, kao i detaljnije ispitivanje svih sistema kod kojih već postoji pozitivna detekcija planeta. Takođe, moguć je i značajno kompleksniji pristup uticaju plimskog zaključavanja na nastanjivost planete, koji bi podrazumevao uključivanje klime, sistema oblaka, magnetnog polja i sl.

**Zahvalnost.** Veliku zahvalnost dugujem pre svega svojim mentorima Jovani Petrović i Nikolini Milanović na ukazanoj pomoći pri realizaciji celokupnog rada, kao i Marku Stojanoviću na savetima i pomoći oko programiranja.

## Literatura

- Barnes R. 2017. Tidal Locking of Habitable Exoplanets. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, **129** (4): 509.
- Beuermann K., Hessman F. V., Dreizler S., Marsh T. R., Parsons S. G., Winget D. E., Miller G. F., Schreiber M. R., Kley W., Dhillon V. S., Littlefair S. P., Copperwheat C. M., Hermes J. J. 2010. Two planets orbiting the recently formed post-common envelope binary NN Serpentis. *Astronomy & Astrophysics*, **521**: 5.
- Checlair J., Menou K., Abbott D. S. 2017. No snowball on habitable tidally locked planets. *The Astrophysical Journal*, **845** (2): 132.
- Goldreich P., Soter S. 1965. Q in the Solar System. *Icarus*, **5**: 375.
- Grißmeier J.-M. 2007. Aspects of the magnetosphere-stellar wind interaction of close-in extrasolar planets. *Planetary and Space Science*, **55** (4): 530.
- Grißmeier J. M., Zarka P., Spreeuw H. 2008. Predicting low – frequency radio fluxes of known extrasolar planets. *Astronomy & Astrophysics*, **475**: 359.
- Grißmeier J. M., Stadelmann A., Grenfell J. L., Lammer H., Mutschmann U. 2009. On the protection of extrasolar Earth-like planets around K/M stars against galactic cosmic rays. *Icarus*, **199** (2): 526.
- Hardy A., Schreiber M. R., Parsons S. G., Caceres C., Brinkworth C., Veras D., Gaensicke B. T., Marsh T. R., Cieza L. 2016. The detection of dust around NN Ser. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **459** (4): 4518.
- Jaime G. L., Aguilar L., Pichardo B. 2014. Habitable zones with stable orbits for planets around binary systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **443** (1): 260.
- Kite E. S., Gaidos E., Manga M. 2014. Climate instability on tidally locked exoplanets. *The Astrophysical Journal*, **734** (1): 12.
- Peale S. J. 1977. Rotation histories of the natural satellites. U *Planetary satellites* (ur. J. Burns). Tucson: University of Arizona Press, str. 87-111.
- Pater I. de, Lissauer J. 2001. *Planetary Sciences*. Cambridge University Press
- Schneider J. Interacitve Extra-solar Planets Catalog. The Extrasolar Planets Encyclopedia.
- Trilling D. E., Stansberry J. A., Stapelfeldt K. R., Rieke G. H., Su K. Y. L., Gray R. O., Corbally C. J., Bryden G., Chen C. H., Boden A., Beichman C. A. 2006. Debris disks in main sequence binary systems. *The Astrophysical Journal*, **658** (2): 1264.

- Vukićević-Karabin M., Atanacković O. 2010. *Opšta astrofizika*. Beograd: Zavod za udžbenike
- Yang J., Cowan N. B., Abbot D. S. 2013. Stabilizing cloud feedback dramatically expands the habitable zone of tidally locked planets. *The Astrophysical Journal Letters*, **771** (2): 6.
- Yang J., Abbot D. S. 2014. A low-order model of water vapor, clouds, and thermal emission for tidally locked terrestrial planets. *The Astrophysical Journal*, **784** (2): 13.
- Yang J., Liu Y., Hu Y., Abbott D. S. 2014. Water trapping on tidally locked terrestrial planets requires special conditions. *The Astrophysical Journal Letters*, **796** (2): 12.

---

*Marija Stojanović*

## Determination of Habitable Zones Around Close Binary Stars

One of the most important and interesting subjects of modern astrophysics is the search for places that could be suitable for life outside of our Solar System, i. e. habitable zones. The main topic of this work is the calculation of the position of habitable zones in close binary systems. Close binaries are chosen because of their vast presence in our universe and the proximity of the components, making them very similar to single star systems. The three main conditions that define the existence of a habitable zone are the dynamic, radiative and tidal one. Using a Python code, these determinators were applied to a binary system database. Results have shown that 233, of the total of 247 systems, have habitable zones, once again reinforcing the argument of binary systems being important for the exploration of potential places for life. The conclusion of this study is that the most discriminatory condition is the tidal one and that it impacts the lowest spectral classes (G, K and M) the most. Furthermore, classes of stars such as O and B show presence of habitable zones that are located far away (hundreds of AU) from the parent binaries, making the observations of potential planets very difficult with currently available techniques. In this paper the NN Ser close binary system was discussed, where two planets have already been detected. It is expected that this system that harbors a dusty disk also has more planets, possibly in the habitable zone.

