

Dinamička stabilnost nastanjive zone u dvojnemu α Centauri AB

Numerički je ispitivano postojanje i pozicija nastanjive zone u dvojnemu sistemu zvezda α Centauri AB u okolini primarne komponente – α Centauri A. Nakon obrađivanja različitih početnih vrednosti velike poluose, ekscentriciteta i inklinacije orbite hipotetičke planete tokom približno 25000 binarnih perioda, utvrđeno je postojanje stabilnih orbita S tipa u nastanjivoj zoni sa velikom poluosom ne većom od 2.2 AU, i ekscentricitetima ne većim od 0.3 za koplanarne orbite tela. Dodatna ispitivanja izračunavanjem indikatora stabilnosti orbite su potvrdila dugoročnu dinamičku stabilnost ovih orbita.

1. Uvod

Do sada je otkriveno preko 130 ekstrasolarnih planeta (Extra-solar Planets Catalog), međutim metode za otkrivanje planeta favorizuju gigantske planete, tako da je planeta sa najmanjom masom, jedna od retkih sa procenjenom minimalnom masom manjom od mase Jupitera, čak 14 puta veća od Zemlje (55 CnC e). Razvojem metoda i instrumenata za otkrivanje ekstrasolarnih planeta, možemo očekivati i otkrića planeta sa masama reda veličine mase Zemlje. Upravo takve planete, Zemljinog (stenovitog) tipa, mogu biti domaćin života nalik na onaj kakav mi poznajemo na Zemlji. Osnovni kriterijum utvrđivanja mogućnosti postojanja života, pored stabilnosti orbite same planete i stabilnosti zvezde, jeste odgovor na pitanje može li voda postojati u tečnom stanju na površini planete (Menou i Tabachnik 2002), tj. da li temperatura na njenoj površini to može da obezbedi. Ukoliko planeta ispunjava ove uslove kažemo da se ona nalazi u nastanjivoj zoni (eng. *habitable zone*), odnosno da je u mogućnosti da podrži razvoj života kakav mi poznajemo na Zemlji. Opseg i raspon nastanjive zone, odnosno samu nastanjivu zonu analogno definišemo kao opseg i raspon zone gde je moguće postojanje upravo takve planete.

Goran Rakić (1985), Smederevska Palanka, Tašmajdan 12/5, učenik 4. razreda Gimnazije "Sveta Đorđević" u S. Palanci

Đorđe Klisić (1985), Beograd, Dubljanska 9, učenik 4. razreda Treće beogradske gimnazije

Činjenica da se 35% svih otkrivenih ekstrasolarnih planeta tokom 2002. godine upravo nalaze u višestrukim zvezdanim sistemima (Haghighipour 2004) opravdava tezu da je nastanak planeta u binarnim sistemima moguć, ali preostaje pitanje dugoročne dinamičke stabilnosti takvih planeta u uslovima kada su ispunjeni zahtevi nastanjivosti. Poznato je da u dvojnog sistema mogu postojati dva različita tipa orbita planete: planetarni (P tip), kada planeta kruži istovremeno oko obe komponente blisko dvojnog sistema, i satelitski (S tip), kada planeta kruži oko jedne od komponenti dvojnog sistema (Benest 1988; Dvorak *et al.* 2003). U ovom radu je numeričkom simulacijom vršeno ispitivanje postojanja i pozicije nastanjive zone u okolini primarne komponente dvojnog sistema α Centauri AB, odnosno ispitivanje mogućih orbita planete S tipa oko α Centauri A. Sam metod ispitivanja i dobijeni rezultati su izloženi u odvojenim celinama.

Trojni sistem α Centauri se sastoji od dvojnog sistema α Centauri AB (tabela 1) i treće komponente – α Centauri C (Proxima Centauri). Treća komponenta se nalazi na relativno velikom rastojanju od približno 13000 AU, tako da se sistem α Centauri AB može posmatrati kao izolovani dvojni sistem. Komponenta A je slična Suncu, kako po spektralnoj klasi (G2V), tako i po ostalim parametrima (tabela 2), pa predstavlja interesantan objekat za određivanje nastanjive zone.

Tabela 1. Parametri sistema α Centauri AB (Pourbaix 1999, Guenther i Demarque 2000)

Ekscentricitet	0.519 ± 0.0013
Period [god]	79.9 ± 0.013
Koeficijent mase	0.454 ± 0.002
Velika poluosa [AU]	23.43

Tabela 2. Karakteristike komponenti α Centauri AB (Guenther i Demarque 2000, Morel *et al.* 2000)

Karakteristika	Komponenta	
	α Centauri A	α Centauri B
Masa [M_{Sun}]	1.1015 ± 0.008	0.9159 ± 0.007
Temperatura [K]	5770 ± 50	5300 ± 50
Luminoznost [L_{Sun}]	1.572 ± 0.135	0.509 ± 0.06
Spektralna klasa	G2V	K1V

2. Metod

2.1. Model dinamičke evolucije

Za određivanje dinamičke stabilnosti orbite hipotetičkih planeta u prostoru (a, e, i) , gde je a velika poluosa orbite, e ekscentricitet, a i inklinacija, u okolini α Centauri A upotrebljen je model ograničenog problema tri tela. Za numeričko rešavanje korišćena je Runge-Kutta integraciona šema četvrtog reda, gde su pomoću Fehlbergovog pravila funkcije transformisane u Runge-Kutta šemu petog reda (Press 1992). Razlika vrednosti je iskorišćena za implementaciju prilagodljivog koraka integracije (eng. *adaptive stepsize*). Radi povećanja preciznosti umesto Fehlbergovih korišćeni su Cash-Karp koeficijenti prilikom formulisanja jednačina.

Za implementaciju prilagodljivog koraka, empirijskim putem je određena dozvoljena razlika položaja tela koji je izračunat metodom petog i metodom četvrtog reda na 2 m po koordinatama. Po pomeranju tela za integracioni korak, najpre se izračunava najveća razlika između parova koordinata tela, a zatim se izračunava nova dužina koraka:

$$h_n = h_p \left| \frac{\Delta}{\Delta_p} \right|^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

gde je h_p korak u izvršenom pomeraju, $\Delta_p = \max\{\Delta x, \Delta y, \Delta z\}$, Δ fiksiran koeficijent tražene preciznosti, a h_n vrednost novog koraka integracije. Ukoliko je razlika koordinata veća od tražene, izvršeni pomeraj se poništava i integracija ponavlja sa novom vrednošću koraka. Dodatne mere kontrole dužine koraka su implementirane kao zaštita od “zaglavljivanja” izračunavanja – dozvoljena promena za najviše jedan red veličine i postojanje minimalne dužine koraka ($h_n = 1$ s).

Jasno je da preciznost integracije zavisi od veličine koraka, a ta vrednost pak od odabranog koeficijenta preciznosti. Odabrana vrednost od 2 m predstavlja kompromis između tačnije aproksimacije rešenja i vremena potrebnog za izračunavanje. Smanjivanjem dozvoljenog odstupanja na vrednost manju od 2 m, vrednost koraka isuviše često dostiže najmanju dozvoljenu vrednost pa se vreme izračunavanja povećava toliko da nije bilo moguće završiti izračunavanje.

Integracija je prekidana po isteku perioda integracije ili po porastu ekcentriciteta orbite do vrednosti jedan ili po približavanju planete na rastojanje manje od $1.3 \cdot 10^{-4}$ AU, odnosno po njenom udaljavanju na razdaljinu veću od 10000 AU, što su apsolutno sigurne granice u okviru kojih ne može biti reči o bilo kakvoj dinamičkoj stabilnosti. Period integracije je fiksiran na 2 miliona godina, odnosno oko 25000 binarnih perioda sistema.

Početni parametri numeričke simulacije za binarni sistem su preuzeti iz tabele 1, dok su početni parametri planete varirani na sledeći način: velika poluosa je u intervalu od 0.7 AU do 3.0 AU u 50 koraka ($\Delta a \sim 0.047$), a ekscentricitet u intervalu od 0.0 do 0.7 u 14 koraka ($\Delta e \sim 0.054$) i inklinacija orbite (nagnutost na ravan binarnog sistema) od 0° do 90° u 8 koraka ($\Delta i = 15^\circ$). Za masu planete je odabrana vrednost mase Zemlje, ali ova masa ima uticaj samo na određivanje početne brzine jer se radi o ograničenom problemu tri tela. Ukupno je obrađeno $50 \times 14 \times 8 = 5600$ različitih početnih uslova orbite planete oko primarne komponente binarnog sistema i na osnovu rezultata konstruisana je mreža dinamičke stabilnosti koja je prikazana u rezultatima.

Komponente binarnog sistema su inicijalno postavljene u apoastronu, tj. u najudaljenijem položaju oko centra mase sistema, dok je planeta postavljena u kolinearnu poziciju, dalje od sekundarne komponente α Centauri B. Telima su saopštene brzine koje odgovaraju zahtevanim orbitalnim elementima (a, e, T)*, i to u istom smeru svim telima, tj. sva tela su zarotirana u retrogradnom smeru.

* inklinacija ne utiče na zadavanje početne brzine

2.2. Indikator stabilnosti orbite

Sam period integracije od 2 miliona godina je isuviše kratak za utvrđivanje stabilnosti orbite direktno iz integracije tri tela, pa se u slučaju da planeta «preživi» zadati period, stabilnost može odrediti na osnovu vrednosti indikatora stabilnosti – Ljapunovljevog vremena, dobijenog iz vrednosti Ljapunovljevog eksponenta (LE) u konačnom vremenu (eng. *Finite Time Lyapunov Exponent* – FTLE).

Položaj planete tokom vremena možemo predstaviti preko šestodimenzionog vektora stanja čije koordinate odgovaraju koordinatama položaja planete (x, y, z) i koeficijentima pri razlaganju vektora brzine po osama (v_x, v_y, v_z).

Vrednost FTLE-a je izračunata na osnovu paralelne integracije dve čestice (planete i klon čestice) tokom vremena uz renormalizaciju separacije dva vektora stanja planete i klon čestice (Tancredi *et al.* 2001):

$$\ln d(t) = \sum_{i=0}^n \ln \left| \frac{d_i}{d_0} \right| \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\ln d(t)}{t} \quad (3)$$

gde je d_i separacija vektora položaja planete i klon čestice u i -tom koraku, d_0 početna separacija, t vreme integracije, n broj koraka u kome je ostvareno vreme t , a λ vrednost FTLE-a.

Renormalizacija vektora položaja klon čestice je mehanizam koji ne dozvoljava da $d(t)$ poraste preko limita računarske reprezentacije decimalnog broja i predstavlja ponovno postavljanje vektora položaja klon čestice na početnu separaciju u odnosu na trenutni položaj planete. Početna separacija se zadaje po koordinatama i to malim uvećanjem vrednosti svake koordinate gore uvedenog šestodimenzionog vektora stanja.

Tačna vrednost Ljapunovljevog eksponenta je vrednost λ iz (3) u trenutku $t = \infty$. Međutim, tokom vremena λ konvergira ka LE, i nakon kritičnog vremena t_c dostiže približno tačnu vrednost. Stoga je moguće u konačnom vremenu integracije (2 miliona godina) na osnovu prosečne vrednosti λ tokom poslednjeg perioda binarnog sistema proceniti vrednost LE u prostoru (a, e, i) .

Ljapunovljevo vreme, koje se definiše kao recipročna vrednost LE, odnosno konkretno recipročna vrednost FTLE označava vreme za koje će separacija planete i klon čestice porasti e puta:

$$t_{ly} = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

Razumljivo je da će vreme potrebno za udaljavanje orbita biti veće u manje haotičnim nego u više haotičnim regionima prostora orbitalnih elemenata.

2.3. Definisane nastanjive zone

Definicija nastanjive zone pomoću temperature na površini planete iznesena u uvodnoj celini i najčešće korišćena u literaturi (Huang 1960; Benest 1988; Dvorak *et al.* 2003) nije najpogodnija za samo određivanje položaja nastanjive zone jer struktura planete značajno utiče na temperaturu na površini. Brojni su efekti poput efekta staklene bašte, efekta glacijacije, i drugih čiji je uzročnik struktura atmosfere hipotetičke planete. Stoga je u ovom radu umesto temperature kao kriterijum korišćen zbirni primljeni fluks od obe komponente koji ne zavisi od fizičkih svojstava planete.

Izračunavanju limita nastanjive zone pristupilo se na dva načina. Prvo, na osnovu uvođenja paralele sa Sunčevim sistemom može se definisati minimalna i maksimalna vrednost fluksa izražena u funkciji fluksa koji prima Zemlja – od 0.433, što je vrednost koja odgovara orbiti Marsa, do 1.913, što je vrednost koja odgovara orbiti Venere (Huang 1960).

U drugom pristupu u (a, e) se može odrediti limit nastanjive zone na osnovu analitičkog rešenja za planete na orbitama oko samostalnih zvezda. Tako se limit nastanjive zone može izraziti za udaljenost u periastronu i udaljenost u apoastronu, ponovo izjednačavajući fluks sa fluksom koji na svojim orbitama primaju Venera i Mars. Planeta sa orbitom S tipa oko

α Centauri A je uvek barem deset puta bliža primarnoj komponenti nego sekundarnoj komponenti binarnog sistema, pa će i fluks primljen od druge komponente biti približno reda veličine 1% ukupnog primljenog fluksa. Upravo zato je i moguće koristiti analitičko rešenje limita predviđeno za planete u jednozvezdanom okruženju:

$$(1 - e) a = \sqrt{\frac{r_v^2}{L_*}} = q \quad (5)$$

$$(1 + e) a = \sqrt{\frac{r_m^2}{L_*}} = Q \quad (6)$$

gde je e ekscentricitet, a velika poluosa orbite planete, r_v i r_m srednja udaljenost Venere i Marsa od Sunca, a L_* luminoznost zvezde α Centauri A. Na ovaj način se uspostavlja veza između ekscentriciteta i velike poluose orbite planete koji određuju unutrašnji i spoljni limit nastajive zone.

Pri određivanju fluksa planete zanemareni su efekti pomračenja komponenti. Period planete sa poluosom od 1.2 AU u komplanarnoj orbiti iznosi oko 1.25 godina, binarni period sistema iznosi oko 80 godina, dok vreme trajanja pomračenja iznosi manje od jednog dana što se svakako može zanemariti.

3. Rezultati i diskusija

Isviše kratko vreme integracije ne dozvoljava konstatovanje stabilnih regiona, ali zato dozvoljava konstatovanje nestabilnih regiona, tj. prostora (a, e, i) gde se planeta sigurno ne može nalaziti. U komplanarnom slučaju, nestabilni region uključuje poluose veće od 2.7 AU, kada perturbacije sekundara postaju prevelike. To dalje utiče na promenu ekscentriciteta i velike poluose planete i završava se raspadanjem sistema, ili u blažem slučaju planeta ostaje u sistemu ali na osnovu FTLE indikatora lako zaključujemo da orbita ne može biti stabilna. Sa porastom ekscentriciteta efekat perturbacija postaje jači, pa se čak i na manjim poluosama od 2.7 AU javlja nestabilni region. Na nultom ekscentricitetu se može primetiti stabilnost po širem opsegu velikih poluosa tako da stabilni region postoji sa izuzecima do 2.8 AU, dok se pri ekcentricitetu većem od 0.4 ne može govoriti o nekoj većoj stabilnosti. Mreža stabilnosti za nultu inklinaciju (komplanarni slučaj), gde boja odgovara logaritmu vrednosti FLTE-a i gde manje vrednosti indiciraju veću stabilnost, prikazana je na slici 1.

Na ovom grafiku je moguće primetiti lažno indiciranu nestabilnost na nižim vrednostima poluose usled numeričke greške i nedovoljne preciznosti integracije. Dalji rad će biti fokusiran na dobijanje bolje ujednačenosti preciznosti integracije na celoj mreži stabilnosti. Gornji i donji limit nastaj-

njive zone, izražen preko relacija (5) i (6), je određen za vrednosti q i Q koje su prikazane na grafiku.

Kritična vrednost velike poluose, tj. maksimalna vrednost velike poluose za S-tip orbita u binarnim sistemima, izračunava se po sledećoj relaciji (Haghighipour 2004):

$$\frac{a_c}{a_b} = (0.46 \pm 0.006) + (-0.380 \pm 0.010)\mu + (-0.631 \pm 0.034)e_b + (0.586 \pm 0.061)\mu e_b + (0.150 \pm 0.041)e_b^2 + (-0.198 \pm 0.047)\mu e_b^2$$

gde je μ koeficijent mase $\mu = M_2 / (M_1 + M_2)$, a_b i e_b velika poluosa i ekscentricitet binarnog sistema, a a_c kritična velika poluosa. Uzimajući vrednosti parametara iz tabele 1 dobija se vrednost kritične poluose:

$$a_c \approx 2.76 \text{ AU.}$$

Na osnovu ovog podatka, a i same mreže stabilnosti, može se utvrditi da u sistemu α Centauri AB ne može postojati planeta Jupiterovog tipa, i da, ako planete postoje, one su Zemljinog tipa. Planete Jupiterovog tipa nemaju gde da nastanu jer na udaljenostima gde bi njihovo obrazovanje bilo moguće ne postoji dinamička stabilnost.

Na slikama 2-5 prikazani su grafici nekih podataka dobijenih za planetu sa ekscentricitetom i inklinacijom 0 i poluosom od 1.16 AU.

Na slici 3 je moguće uočiti interesantna periodična povećanja ekscentriciteta sa 0 do 0.09. Oscilacije su izražene usled delovanja sekundarne komponente binarnog sistema na planetu. Period oscilacija je oko 8000 godina i sa povećanjem početnog ekscentriciteta period oscilacije se povećava. Sa povećanjem početne velike poluose period se smanjuje ali se efekat uticaja povećava jer je u periastronu razdvajanje planete i sekundara dvojnog sistema manje.

Na grafiku zavisnosti fluksa od vremena (slika 3) se mogu uočiti dva različita perioda – period rotacije binarnog sistema i period povećavanja i smanjivanja maksimuma i minimuma prvog perioda koji odgovara povećavanjima i smanjivanjima ekscentriciteta. Treći period koji je takođe prisutan je period rotacije planete oko primara dvojnog sistema, ali na grafiku nije moguće videti ovaj period koji za ovu planetu sa velikom poluosom od 1.16 AU iznosi oko 1.2 godina.

Varijacije fluksa i ekscentriciteta su u saglasnosti sa standardnom Milankovićevom teorijom klimatskih promena uzrokovanih promenom orbitalnih parametara. Međutim, ono što je posledica ovih oscilacija jeste da za veće početne ekscentricitete razlike u fluksu (pa samim tim i u površinskoj temperaturi) postaju izrazito velike (slika 5), pa je pitanje da li se onda može govoriti o nastanjivosti takve planete. Ukoliko klimatski mehanizmi

ne mogu da naprave povratnu spregu i izbalansiraju promene fluksa, temperaturne oscilacije sa gornjeg limita nastanjive zone na donji limit nastanjive zone ne mogu biti prihvaćene, i samim tim nastanjiva zona postaje manja nego što je navedeno u relaciji (5) i (6) (Menou i Tabachnik 2002).

Na slici 6 su prikazane mreže stabilnosti za inklinacije različite od nule. Izuzev inklinacije od 15° , na većim inklinacijama ne možemo uočiti veću dinamičku stabilnost. Na graficima se može uočiti da je pri porastu inklinacije stabilnost veća pri većim ekscentricitetima.

Slike na naspramnoj strani

Figures on the opposite page

Slika 1. Mreža stabilnosti orbita planete u okolini α Centauri A; crvena linija označava unutrašnji, a bela spoljašnji limit nastanjive zone definisan u (5) i (6).

Figure 1. Stability grid of planet orbits around α Centauri A; red line describes the inner and the white line the outer limit of the habitable zone defined with (5) and (6).

Slika 2. Promena ekscentriciteta na periodu od 20 000 godina

Figure 2. Change of eccentricity during a period of 20 000 years

Slika 3. Oscilacije fluksa na periodu od od 20 000 godina.

Fluks je izražen u funkciji fluksa koji prima Zemlja.

Figure 3. Flux oscilation during a period of 20 000 years.

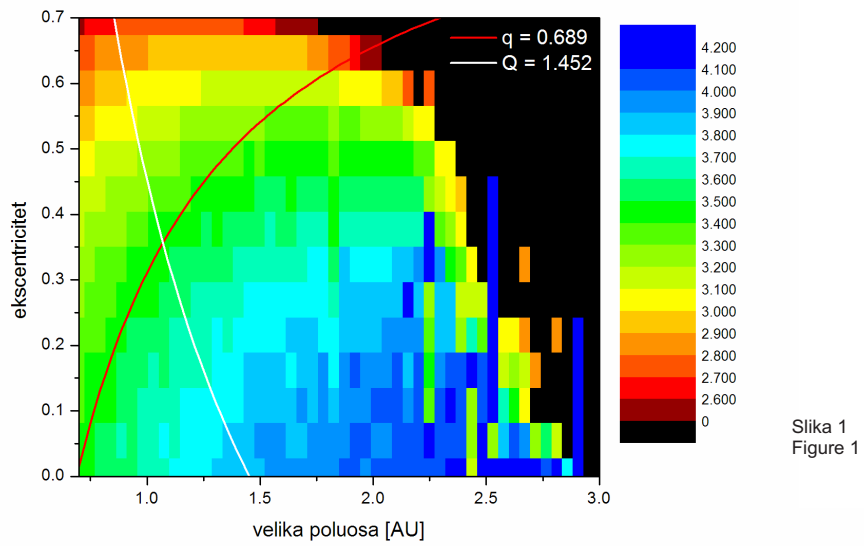
Flux is expressed as a function of flux given to Earth (Solar constant)

Slika 4. Konvergiranje procenjenog Ljapunovljevog vremena tokom vremena integracije za planete sa različitim vrednostima ekscentriciteta i poluose i inklinacijom nula, i to gledano odozgo: poluosa 1.45 AU, ekscentricitet 0.16; poluosa 2.25 AU, ekscentricitet 0.27; poluosa 0.89 AU, ekscentricitet 0; i na kraju poluosa 2.01 AU, ekscentricitet 0.3

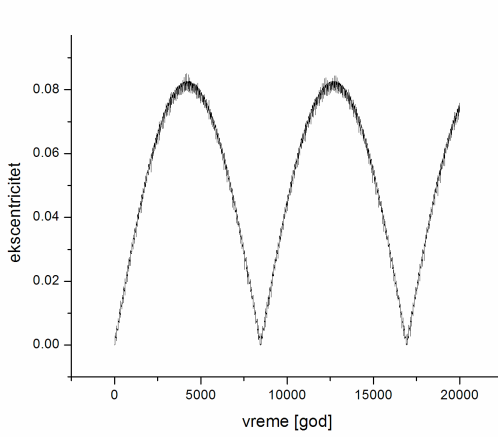
Figure 4. Convergence of estimated Lyapunov time during integration time for planets with different eccentricity and major semi-axis values with zero inclination, looking from top: major semi-axis 1.45 AU, eccentricity 0.16; major semi-axis 2.25 AU, eccentricity 0.27; major semi-axis 0.89 AU, eccentricity 0, and at the end major semi-axis 2.01 AU, eccentricity 0.3.

Slika 5. Isto kao i slika 3, samo ekscentricitet umesto 0 sada iznosi 0.53. Kao što se može primetiti, planeta izlazi iz nastanjive zone kako pri udaljavanju, tako i pri približavanju primarnoj komponenti. Porast ekscentriciteta deformiše orbitu tako da se planeta naglo približava primarnoj komponenti, uvećavajući primljeni fluks i do deset puta.

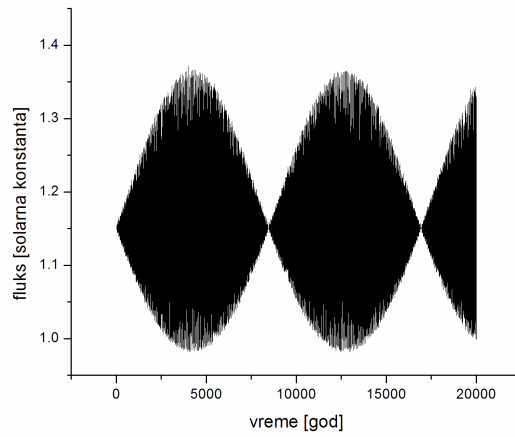
Figure 5. Same as figure 3, except that the eccentricity is now 0.53 instead of 0. As it can be seen, the planet is leaving the habitable zone while going away, and also while going towards the primary component. The jump of eccentricity deforms the orbit so that the planet approaches the primary component, maximizing the received flux up to ten times.



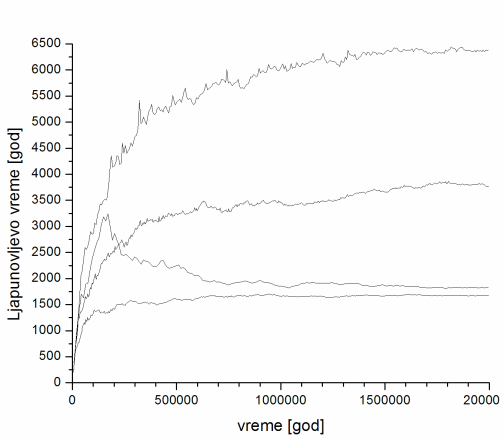
Slika 1
Figure 1



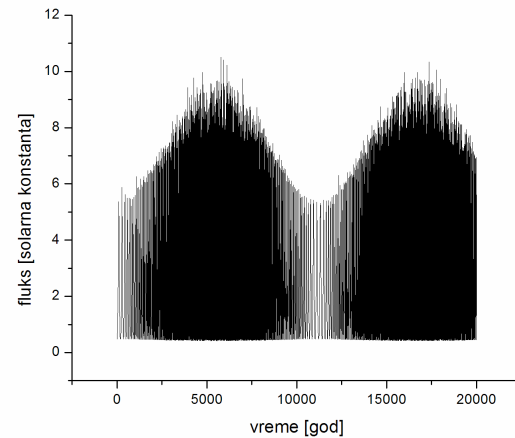
Slika 2 / Figure 2



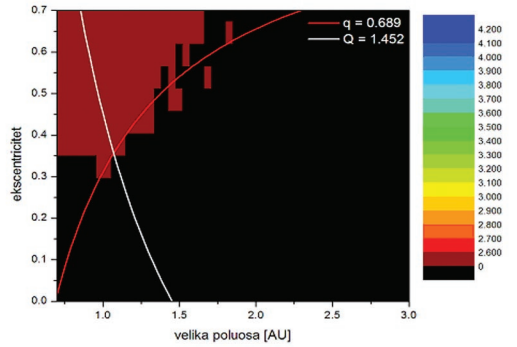
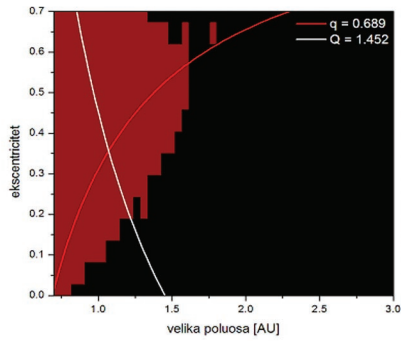
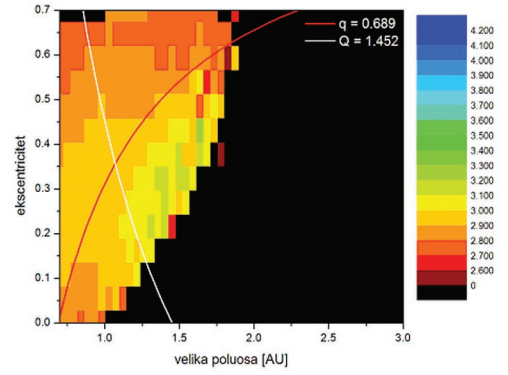
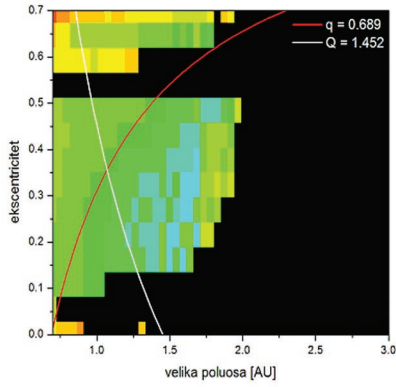
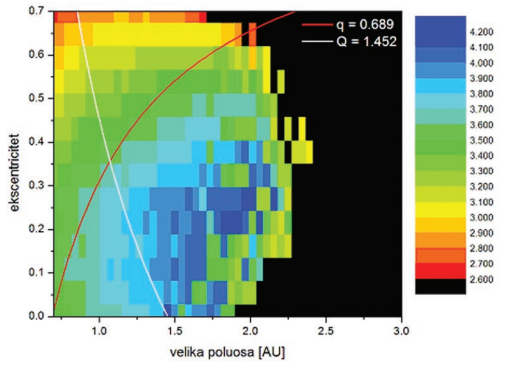
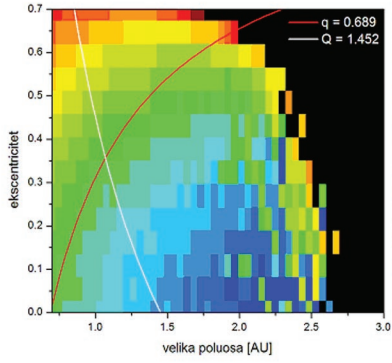
Slika 3 / Figure 3



Slika 4 / Figure 4



Slika 5 / Figure 5



Slika 6.
Mreža stabilnosti za inklinacije od 15° do 90°.

Figure 6.
Stability grid for inclinations from 15° to 90°.

4. Zaključak

Izloženim rezultatima pokazana je mogućnost postojanja planeta Zemljinog tipa koje bi se nalazile u nastanjivoj zoni u regionu do 1.3 AU do 2.2 AU sa ekscentricitetima do 0.3. Istovremeno je pokazano da ukoliko postoje planete u dvojnog sistema α Centauri AB, one moraju biti Zemljinog tipa, jer gigantske planete ne mogu nastati usled nepostojanja dinamičke stabilnosti na rastojanjima većim od 2.7 AU. Odavde sledi da je izabrani model tri tela prihvatljiv, jer ne može postojati četvrto telo velike mase koje bi imalo veće gravitacione uticaje na planetu u nastanjivoj zoni. Dodatna izračunavanja su potrebna za dobijanje bolje rezolucije i veće preciznosti mreže stabilnosti.

U mreži stabilnosti za nekomplanarni slučaj, dinamička stabilnost se zapaža jedino pri nižim inklinacijama od 15° i eventualno pri inklinaciji od 30° . Ipak, mogućnost da planeta nastane u različitoj ravni od ravnog sistema je dosta manja, pa je uz manju dinamičku stabilnost pri većim inklinacijama nastajanje planete u nastanjivoj zoni u nekomplanarnom slučaju malo verovatno.

Rezultati izneseni u ovom radu mogu biti iskorišćeni u dobijenom obliku za slična istraživanja, ali i za određivanje regiona fokusiranja daljih istraživanja u potrazi za planetama u nastanjivoj zoni.

Zahvalnost. Zahvaljujemo se Igoru Smoliću, rukovodiocu programa astronomije, i Mihailu Čubroviću, saradniku istog programa, na nesebičnom angažovanju i pomoći u kritičnim trenucima izrade ovog rada. Takođe, izražavamo zahvalnost svima onima koji su doprineli skraćivanju vremena potrebnog za obradu podataka ustupanjem procesorskog vremena.

Literatura

Barbieri M., Marzari F., Scholl H. 2002. Formation of terrestrial planets in close binary systems: The case of α Centauri A. *Astronomy and Astrophysics*, **396**: 219

Benest D. 1988. Stable planetary orbits around one component in nearby binary stars, (BMFWF, Oesterreichische Forschungsgemeinschaft, Steiermaerkischer Wissenschafts und Forschungslandesfonds, *et al.*, Alexander von Humboldt Colloquium on Celestial Mechanics: Long Term Evolution of Planetary Systems, Ramsau, Austria, Mar. 14-18, 1988) *Celestial Mechanics* **43** (1-4, 1987-1988): 47-53.

Dvorak R., Pilat-Lohinger E., Funk B., Freistetter F. 2003. Planets in habitable zones: A study of the binary Gamma Cephei. *Astronomy and Astrophysics*, **398**: L1

Guenther D. B. and Demarque P. 2000. α Centauri AB. *The Astrophysical Journal*, **531**: 503

Haghighipour N. 2004. On The Dynamical Stability of γ Cephei, an S-Type Binary Planetary System. THE SEARCH FOR OTHER WORLDS:

- Fourteenth Astrophysics Conference. AIP Conference Proceedings, 713: 269-72
- Huang S. 1960. Life-Supporting Regions in the Vicinity of Binary Systems. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, **72** (425): 106-114
- Morel P., Provost J., Lebreton Y., Thevenin F., Berthomieu G. 2000. Calibrations of α Centauri A & B. *Astronomy and Astrophysics*, **363**: 675
- Menou K. i Tabachnik S. 2002. Dynamical Habitability of Known Extra-solar Planetary Systems. *Astrophysics Journal*, **583**: 473
- Pourbaix D. 1999, Revised masses of Alpha Centauri. *Astronomy and Astrophysics*, **344** (2): 172
- Press W. H. (ed.) 1992. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge: Cambridge University Press
- Tancredi G., Sanchez A., Roig F. 2001. A comparison between methods to compute Lyapunov exponents. *The Astronomical Journal*, **121** (2): 1171.
- Extra-solar Planets Catalog. Dostupno na <http://www.obspm.fr/encycl/cat1.html>

Goran Rakić and Djordje Klisić

Dynamical Stability of Habitable Zone in Alpha Centauri AB System

With the empirical conclusion that planets can form in a binary star environment, we can ask ourselves if life can exist on them. Life can exist on a planet if its orbit is dynamically stable and if liquid water can exist on its surface. The habitable zone is a region where such orbits can exist.

Alpha Centauri AB is a binary star system that forms the well-known Alpha Centauri system with a third, C component, separated by 13000 AU. In this paper we analyzed the existence and position of habitable zones in the binary star system Alpha Centauri AB, that is the possible existence of S-type orbits around the primary component Alpha Centauri A.

Dynamical stability was examined using the numerical solution of the elliptic restricted three bodies problem with the help of indicators of orbital stability - Finite time Lyapunov exponents. Integration was performed during about 25000 binary periods. The habitability zone was then determined by the defined stability conditions and values of flux between the orbits of Venus and Mars in the Solar system.

The map of dynamical stability is shown in Figure 1. The obtained results prove that planets with a semi major axis and eccentricity smaller or equal to 2.2 AU and 0.3 for coplanar bodies orbits are in the habitable zone. Further calculations will be made to confirm the long term dynamical stability of these orbits with a better stability map resolution.

