

Projektni zadatak 1:

Orbite dvojnih sustava

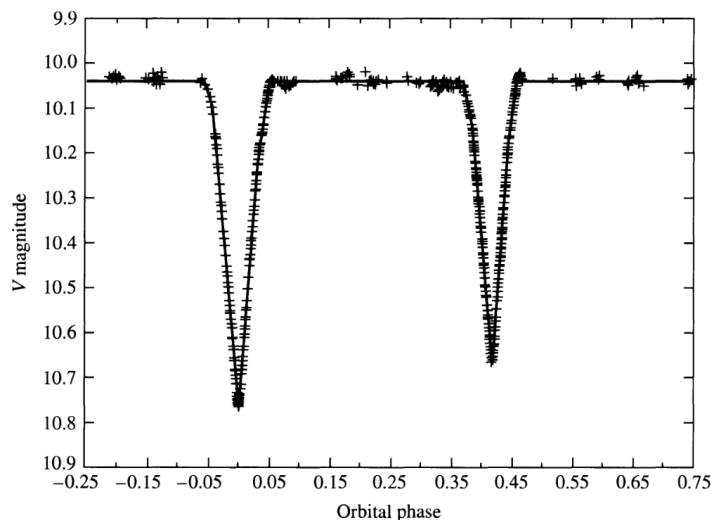
1. Odredite krivulju radijalnih brzina u dvojnomo sustavu koji se sastoji od komponente 1 s $M_1 = 0.5 M_{\text{Sun}}$, $R_1 = 1.8 R_{\text{Sun}}$, $T_{e1} = 8190 \text{ K}$ i komponente 2 s $M_2 = 2 M_{\text{Sun}}$, $R_2 = 0.63 R_{\text{Sun}}$, $T_{e2} = 3840 \text{ K}$, dok je ophodni period 1.8 godina, a kut inklinacije između ravnine orbite i ravnine nebeskog svoda $i = 30^\circ$. Krivulju radijalnih brzina izračunajte pomoću programa *TwoStar*.

- a. Nacrtajte krivulje radijalnih brzina za orbitalne ekscentricitete $e = 0, 0.2, 0.4, 0.5$. Pretpostavite da je brzina centra mase u odnosu na Zemlju jednaka nuli, te da se velika poluos nalazi okomito na smjer doglednice.
- b. Prikažite na istom grafu kako se u vremenu mijenja položaj komponenata 1 i 2 u y smjeru. Isto prikažite i u z smjeru.
- c. Koliko iznosi velika poluos određena iz 3. Keplerovog zakona? Provjerite dobiveni rezultat za $e = 0$ korištenjem relacija za orbitalno gibanje: odredite udaljenosti komponenata a_1 i a_2 , te zatim orbitalne brzine v_1 i v_2 iz perioda P i udaljenosti a_1 i a_2 , i na kraju najveće moguće opažene radijalne brzine $v_{1r} = v_1 \sin i$ te $v_{2r} = v_2 \sin i$. Usporedite ove maksimalne radijalne brzine s rezultatima dobivenim pomoću koda *TwoStar*.

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} = \frac{v_{2r}}{v_{1r}} \quad a = a_1 + a_2$$

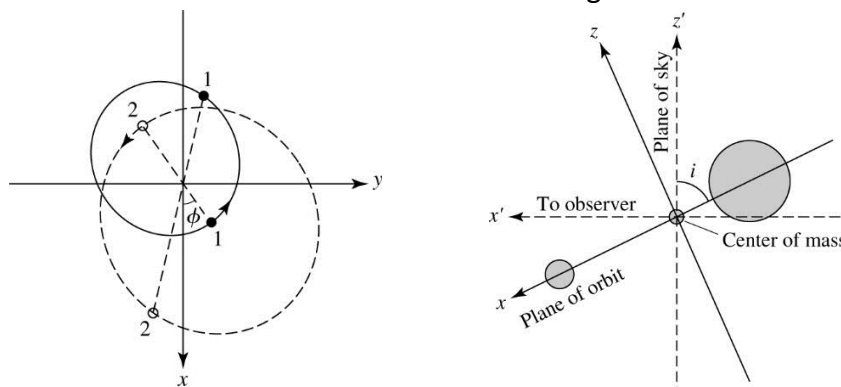
- d. Objasnite kako bi odredili ekscentricitet orbite.
2. Modelirajte numeričkim kodom *TwoStar* pomrčinski dvojni zvjezdani sustav YY Sgr na osnovu opažene svjetlosne krivulje prikazane na slici. Poznato je da se dvojni sustav sastoji od komponente 1 s $M_1 = 5.9 M_{\text{Sun}}$, $R_1 = 3.2 R_{\text{Sun}}$, $T_{e1} = 15\,200 \text{ K}$ i komponente 2 s $M_2 = 5.6 M_{\text{Sun}}$, $R_2 = 2.9 R_{\text{Sun}}$, $T_{e2} = 13\,700 \text{ K}$, dok je ophodni period 2.6284734 dana, ekscentricitet 0.1573, kut inklinacije $i = 88.89^\circ$, dok kut periastrona iznosi 214.6° . Pretpostavite da centar mase miruje u odnosu na Zemlju.

- a. Nacrtajte sintetičku krivulju sjaja pomoću koda *TwoStar*. Odredite faze obiju minimuma, trajanje pomrčina i razliku sjaja za vrijeme i izvan dviju pomrčina iz sintetičke krivulje sjaja i iz opažanja te ih međusobno usporedite. Na isti graf na kojem ste nacrtali sintetičku krivulju sjaja ucrtajte i opažanja u optičkom (V) pojasu u ovisnosti o fazi. Opažanja pronađite u radu Lacy, C.H.S., 1993, *Astron. J.*, 105, 637 koristeći NASA/ADS bazu radova. Komentirajte slaganje opaženih i sintetičkih krivulja sjaja. Odredite udaljenost.
- b. Nacrtajte krivulju radijalnih brzina obiju komponenata na istom grafu koristeći kod *TwoStar*.



Upute za numerički kod *TwoStar*

TwoStar je jednostavan numerički kod za određivanje osnovnih svojstava zvijezda u dvojnim sustavima na osnovu opažanja svjetlosnih krivulja i krivulja radijalnih brzina. Ovaj kod može izračunati položaj i radijalne brzine komponentata dvojnog sustava, te svjetlosnu krivulju za zadane orbitalne parametre. Usporedbom ovih veličina (položaj, radijalne brzine, svjetlosna krivulja) s opažanjima moguće je odrediti mase, polumjere, omjere efektivnih temperatura, ekscentricitete i inklinaciju orbite te orijentaciju periastrona. Ovaj kod koristi aproksimacije u kojima su zvijezde sferno simetrične, površine im nisu u kontaktu niti se sudaraju tijekom orbite, a površinski tok se mijenja samo s radijusom – nema zvjezdanih pjega. Parametri orbite poput kuta periastrona (ϕ) i kuta inklinacije (i) prikazani su na donjoj slici. Oznaka '1' predstavlja prvu komponentu, a '2' drugu dvojnog sustava. Dva označena položaja komponentata razlikuju se za $P/4$ vremena. Centar mase se nalazi u ishodištu koordinatnog sustava.



Kut inklinacije i definiran je kao kut između ravnine orbite i ravnine nebeskog svoda (vidi gornju sliku). Koordinatni sustav je izabran tako da se smjer x koordinate nalazi u smjeru doglednice (vidi gornju sliku). Kut periastrona je određen kao kut između x osi (smjera doglednice) i točke u kojoj je zvijezda najbliže centru mase (vidi gornju sliku).

Program se nalazi u prilogu te se može pokrenuti u Windows okruženju jednostavnim klikom, nakon čega se otvara command prompt koji traži unos imena datoteke s izračunatim parametrima, unos mase, polumjera i efektivne temperature obiju komponentata sustava, orbitalni period, ekscentricitet i inklinaciju orbite, te kut periastrona. Ukoliko centar mase miruje u odnosu na Zemlju, komponente brzine centra mase jednake su nuli. Nakon unosa ovih veličina, program rješava orbitu i računa krivulju sjaja, položaje komponentata i radijalne brzine. Izlazna datoteka sadrži slijedeće bitne kolone:

t/P	vrijeme kao faza u odnosu na periodu iz čega se mogu nacrtati fazni dijagrami za sjaj, položaj i radijalnu brzinu komponentata,
v_{1r}, v_{2r}	radijalne brzine komponentata dvojnog sustava, u km/s,
M_{bol}	ukupan bolometrijski sjaj dvojnog sustava iz kojeg se određuje svjetlosna krivulja,
$y_{1p}, z_{1p}, y_{2p}, z_{2p}$	položaji komponentata 1 i 2 dvojnog sustava u odnosu na centar mase, u AU. Centar mase nalazi se u ishodištu koordinatnog sustava.