

Analiza prostornih brzina zvezda iz kataloga ARIHIP

Sonja Vidojević

Katedra za astronomiju,
Matematički fakultet, Beograd

PMF u Novom Sadu 20. marta 2008.



Zadatak

- (i) izvršiti izbor kataloga i formirati kriterijume za izdvajanje reprezentativnog uzorka zvezda;
- (ii) izvršiti opštu analizu uzorka u cilju sagledavanja njegovih karakteristika;
- (iii) odrediti elemente Sunčevog kretanja i elemente Švarcšildove troosne elipsoidne raspodele brzina zvezda; podskupove formirati na osnovu (a) intenziteta prostornih brzina i (b) indeksa boje;
- (iv) odrediti galaktocentrično kretanje Sunca;
- (v) izračunati galaktocentrične putanje za sve zvezde iz uzorka;
- (vi) Ispitati mogućnost razdvajanja podsistema Mlečnog puta na velikoj skali: tanki disk, debeli disk, halo.



Izbor kataloga

- SPOCS (Valenti & Fischer, 2005) F, G, K zvezde sa potencijalnim planetnim sistemima; ali, SAMO 1 040 zvezda;
- HIPPARCOS (ESA, 1997) $\sim 120\,000$ zvezda, ali, misija trajala SAMO 3 godine, malo za sopstvena kretanja;
- **ARIHIP** (Wielen et al. 2001), 90 842 zvezde, sastavljen od:
FK6, GC + HIP, TYC2 + HIP, HIPPARCOS
+ posmatranja sa zemlje (200 godina)
 - ★ tipična $\sigma_{\mu}^A \approx 0,83 \text{ mas yr}^{-1}$
(1,3 puta bolje od tipične HIP $\sigma_{\mu}^H \approx 1,13 \text{ mas yr}^{-1}$)
 - ★ za sve zvezde dat je indikator dvojnosti!



Kriterijumi za selekciju uzorka

- 1 Radijalna brzina: samo 15 901 (17,5% od 90 842) zveda sa radijalnom brzinom;
- 2 Isključene dvojne i višestruke: 8 620 (8,8%);
- 3 Isključene promenljive: 7 645 (8,4%);
- 4 Astrometrijski “izvrsne”: 7 524 (8,3%);
- 5 Paralaksa (udaljenost) $\pi \geq 5$ mas ($r \leq 200$ pc): 4 614 (5,1%).

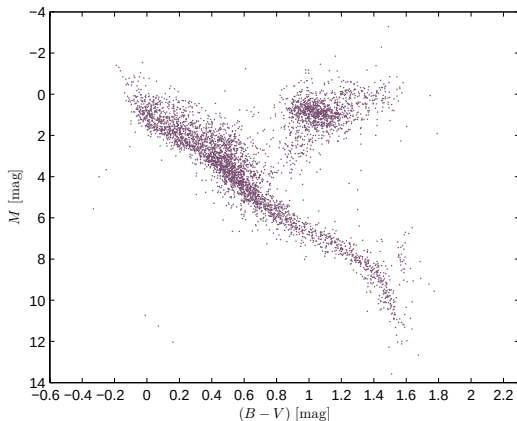
UZORAK

Od ukupno 90 842 zvezde iz kataloga ARIHIP izdvojeno je **4 614** (5,1%).



Karakteristike uzorka

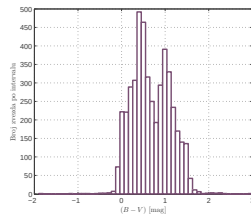
• HR



$(B - V)$ preuzet iz HIP

★ za 3 065 zvezda sa zemlje,

★ za 1 549 TYCHO eksperiment



Hercšprungov procep!



Karakteristike uzorka

- Prostorna brzina

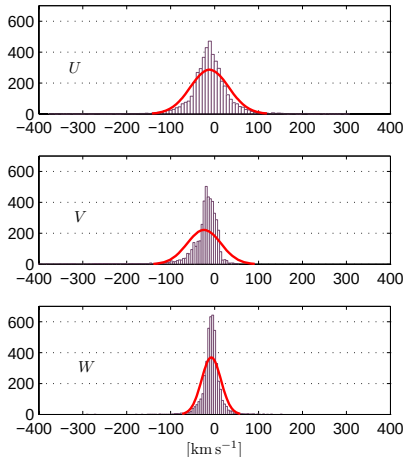
Program `uvwdot.m`

ulaz:

$$\{\alpha, \delta, \mu_{\alpha*}, \sigma_{\mu_{\alpha*}}, \mu_{\delta}, \sigma_{\mu_{\delta}}, \pi, \sigma_{\pi}, v_r, \sigma_{v_r}\},$$

izlaz:

$$\{U, V, W, \sigma_{\dot{x}}, \sigma_{\dot{y}}, \sigma_{\dot{z}}, v, \sigma_v\}.$$



Kretanje Sunca i elipsoid brzina

- Programi:
 elipsoid.m, MonteCarlo.m
- Kretanje Sunca u odnosu na centroid:

$$U_{\odot} = (11,50^{+0,10}_{-0,10}) \text{ km s}^{-1}$$

$$V_{\odot} = (23,91^{+0,12}_{-0,12}) \text{ km s}^{-1}$$

$$W_{\odot} = (7,54^{+0,08}_{-0,07}) \text{ km s}^{-1}.$$

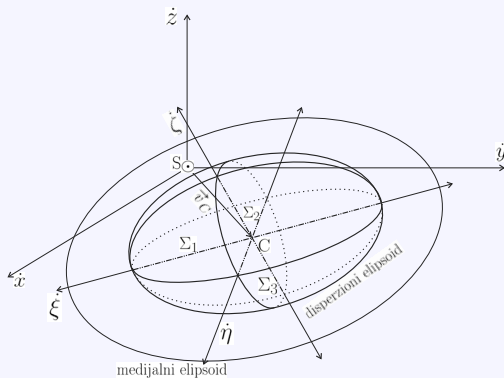
$$L_{\odot} = 64^{\circ},3 \quad B_{\odot} = 15^{\circ},9.$$

$$\sigma_U = (43,54^{+0,39}_{-0,38}) \text{ km s}^{-1}$$

$$\sigma_V = (38,12^{+0,72}_{-0,70}) \text{ km s}^{-1}$$

$$\sigma_W = (21,67^{+0,31}_{-0,30}) \text{ km s}^{-1}.$$

$$\sigma_U : \frac{\sigma_U}{\sigma_V} : \frac{\sigma_U}{\sigma_W} = 43,54^{+0,51}_{-0,52} : 1,14^{+0,02}_{-0,02} : 2,01^{+0,03}_{-0,03}$$



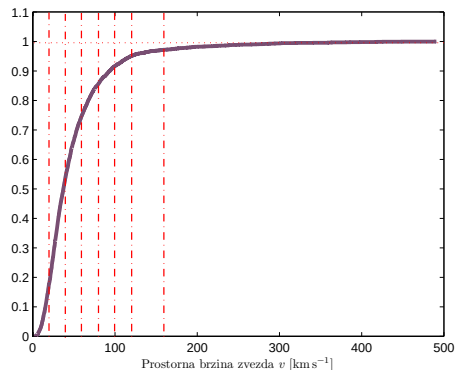
$$l_V = 11^{\circ},1^{+3,8}_{-3,7}.$$



Prostorna brzina

Table: Razvrstavanje uzorka po kumulativnom broju; n je broj dodatih zvezda u odnosu na prethodnu grupu.

Grupa	$v [\text{km s}^{-1}]$	n	Kumul. broj
1	$0 \leq v < 20$	831	831
2	$0 \leq v < 40$	1 673	2 504
3	$0 \leq v < 60$	959	3 463
4	$0 \leq v < 80$	472	3 935
5	$0 \leq v < 100$	292	4 227
6	$0 \leq v < 120$	161	4 388
7	$0 \leq v < 160$	97	4 485
8	$0 \leq v \leq v_{\text{max}}$	129	4 614



$v < 100 \text{ km s}^{-1} \quad \dashrightarrow \quad \text{tanki disk?}$



Kretanje Sunca

Table: Elementi lokalnog kretanja Sunca za grupe od 1–8. U poslednjoj vrsti sa oznakom grupe "disk" dati su rezultati za grupu koja je klasifikovana kao deo diska Mlečnog puta. Brzine $U_{\odot}$, $V_{\odot}$, $W_{\odot}$ i $v_{\odot}$ su date u $[\text{km s}^{-1}]$.

Grupa	$v [\text{km s}^{-1}]$	$U_{\odot}$	$V_{\odot}$	$W_{\odot}$	$v_{\odot}$	$L_{\odot} [^{\circ}]$	$B_{\odot} [^{\circ}]$
1	$0 \leq v < 20$	$0,55^{+0,05}_{-0,05}$	$1,50^{+0,05}_{-0,05}$	$4,04^{+0,05}_{-0,05}$	$4,34^{+0,05}_{-0,05}$	$69,8^{+1,87}_{-1,82}$	$68,4^{+0,67}_{-0,65}$
2	$0 \leq v < 40$	$5,24^{+0,04}_{-0,04}$	$8,72^{+0,04}_{-0,04}$	$5,89^{+0,03}_{-0,03}$	$11,75^{+0,04}_{-0,04}$	$58,98^{+0,22}_{-0,21}$	$30,02^{+0,17}_{-0,16}$
3	$0 \leq v < 60$	$7,68^{+0,04}_{-0,04}$	$12,25^{+0,04}_{-0,04}$	$6,29^{+0,03}_{-0,03}$	$15,77^{+0,04}_{-0,04}$	$57,93^{+0,15}_{-0,14}$	$23,50^{+0,12}_{-0,11}$
4	$0 \leq v < 80$	$8,62^{+0,04}_{-0,04}$	$14,67^{+0,04}_{-0,04}$	$6,95^{+0,03}_{-0,03}$	$18,38^{+0,04}_{-0,04}$	$59,56^{+0,13}_{-0,13}$	$22,22^{+0,10}_{-0,10}$
5	$0 \leq v < 100$	$9,58^{+0,04}_{-0,04}$	$16,49^{+0,04}_{-0,04}$	$7,34^{+0,03}_{-0,03}$	$20,44^{+0,04}_{-0,04}$	$59,84^{+0,13}_{-0,12}$	$21,06^{+0,10}_{-0,10}$
6	$0 \leq v < 120$	$10,73^{+0,04}_{-0,04}$	$18,06^{+0,04}_{-0,04}$	$7,48^{+0,03}_{-0,03}$	$22,30^{+0,04}_{-0,04}$	$59,28^{+0,12}_{-0,12}$	$19,61^{+0,08}_{-0,08}$
7	$0 \leq v < 160$	$11,49^{+0,04}_{-0,04}$	$19,37^{+0,05}_{-0,05}$	$7,52^{+0,04}_{-0,04}$	$23,75^{+0,05}_{-0,05}$	$59,31^{+0,12}_{-0,12}$	$18,46^{+0,09}_{-0,09}$
8	$0 \leq v \leq v_{\text{max}}$	$11,50^{+0,09}_{-0,09}$	$23,91^{+0,12}_{-0,12}$	$7,54^{+0,07}_{-0,06}$	$27,58^{+0,11}_{-0,11}$	$64,32^{+0,21}_{-0,20}$	$15,86^{+0,15}_{-0,14}$
disk	$0 \leq v \lesssim 400$	$11,43^{+0,08}_{-0,07}$	$23,49^{+0,11}_{-0,11}$	$7,58^{+0,06}_{-0,06}$	$27,20^{+0,10}_{-0,10}$	$64,06^{+0,18}_{-0,18}$	$16,17^{+0,14}_{-0,14}$

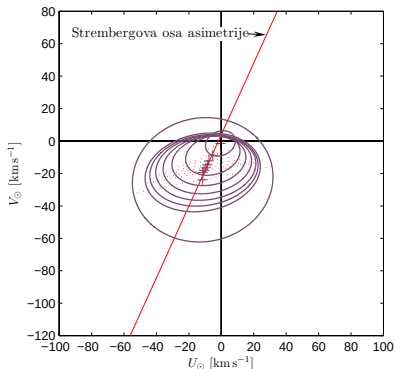
Elipsoid

Table: Elementi elipsoida brzina za grupe od 1–8. U poslednjoj vrsti sa oznakom grupe "disk" dati su rezultati za grupu koja je klasifikovana kao deo diska Mlečnog puta.

Grupa	$v [\text{kms}^{-1}]$	$\sigma_U [\text{kms}^{-1}]$	σ_U/σ_V	σ_U/σ_W	$S^2 [\text{km}^2 \text{s}^{-2}]$	$l_v [^\circ]$
1	$0 \leq v < 20$	$9,52^{+0,06}_{-0,05}$	$1,28^{+0,01}_{-0,01}$	$1,34^{+0,01}_{-0,01}$	$196,7^{+1,6}_{-1,6}$	$24,7^{+1,1}_{-1,1}$
2	$0 \leq v < 40$	$17,14^{+0,05}_{-0,04}$	$1,44^{+0,01}_{-0,01}$	$1,69^{+0,01}_{-0,01}$	$537,0^{+2,1}_{-2,1}$	$16,7^{+0,3}_{-0,3}$
3	$0 \leq v < 60$	$23,00^{+0,05}_{-0,05}$	$1,54^{+0,01}_{-0,01}$	$1,84^{+0,01}_{-0,01}$	$908,2^{+2,9}_{-2,8}$	$10,0^{+0,3}_{-0,2}$
4	$0 \leq v < 80$	$27,48^{+0,06}_{-0,06}$	$1,56^{+0,01}_{-0,01}$	$1,93^{+0,01}_{-0,01}$	$1265,8^{+3,9}_{-3,8}$	$9,1^{+0,2}_{-0,2}$
5	$0 \leq v < 100$	$31,05^{+0,06}_{-0,06}$	$1,57^{+0,01}_{-0,01}$	$1,99^{+0,01}_{-0,01}$	$1597,7^{+5,0}_{-4,8}$	$8,2^{+0,2}_{-0,2}$
6	$0 \leq v < 120$	$33,64^{+0,07}_{-0,07}$	$1,55^{+0,01}_{-0,01}$	$2,00^{+0,01}_{-0,01}$	$1885,1^{+6,1}_{-6,0}$	$9,3^{+0,2}_{-0,2}$
7	$0 \leq v < 160$	$35,86^{+0,08}_{-0,08}$	$1,51^{+0,01}_{-0,01}$	$2,01^{+0,01}_{-0,01}$	$2168,4^{+9,0}_{-8,9}$	$10,5^{+0,2}_{-0,2}$
8	$0 \leq v \leq v_{\text{max}}$	$43,54^{+0,39}_{-0,38}$	$1,14^{+0,02}_{-0,02}$	$2,01^{+0,03}_{-0,03}$	$3818,6^{+68,1}_{-66,2}$	$11,1^{+3,8}_{-3,7}$
disk	$0 \leq v \lesssim 400$	$41,94^{+0,24}_{-0,23}$	$1,15^{+0,02}_{-0,02}$	$1,96^{+0,03}_{-0,03}$	$3552,7^{+52,8}_{-51,4}$	$10,6^{+2,7}_{-2,6}$



Strembergova osa asimetrije



$$\begin{aligned} V(U) &= p_1 V + p_2, \\ p_1 &= 1,8 (1,4; 2,2) \\ p_2 &= 0 (-3; 4). \end{aligned}$$

$$l = 61^\circ + 180^\circ = 241^\circ$$

Figure: Projekcije elipsoida brzina svih 8 grupa na UV ravan. Isprekidana linija označava projekciju najveće ose svakog elipsoida brzina, a znakom “+” su označeni centri elipsi. Punom linijom je naznačena Strembergova osa asimetrije.



Galaktocentrično kretanje Sunca

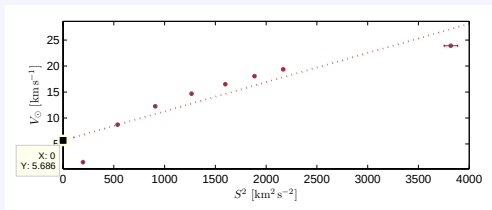


Figure: Zavisnost V komponente prostorne brzine Sunca od veličine S^2 . Isprekidana linija odgovara linearnoj aproksimaciji zavisnosti. Crnim kvadratnim simbolom je označen presek sa ordinatom i date su koordinate preseka.

$$\begin{aligned} V_{\odot} &= p_1(S^2) + p_2 \\ p_1 &= 0,006 \text{ (0,003; 0,008)} \\ p_2 &= 5,69 \text{ (1,14; 10,23)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{\odot} &= (8,18 \pm 0,05) \text{ km s}^{-1} \\ V_{\odot} &= (5,69 \pm 0,06) \text{ km s}^{-1} \\ W_{\odot} &= (6,63 \pm 0,04) \text{ km s}^{-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

- Galaktocentrična brzina Sunca u pravcu rotacije Mlečnog puta:

$$\dot{Y}_{\odot} = V_c + V_{\odot} = 220 + 5,69 = 225,69 \text{ km s}^{-1}$$



Izdvajanje zvezda haloa

- Kretanje Sunca u odnosu na LSM:
 Dehnen & Binney, 1998.
 U: "Local Stellar kinematics from Hipparcos Data"
 Analizirali 11 865 zvezda glavnog niza;
Isključene zvezde haloa!

$$U_{\odot} = (10,00 \pm 0,36) \text{ km s}^{-1}$$

$$V_{\odot} = (5,25 \pm 0,62) \text{ km s}^{-1}$$

$$W_{\odot} = (7,17 \pm 0,38) \text{ km s}^{-1}$$

- Kretanje Sunca u odnosu na LSM:
Naš uzorak posle isključivanja 8 zvezda

$$U_{\odot} = (8,17 \pm 0,05) \text{ km s}^{-1}$$

$$V_{\odot} = (5,23 \pm 0,07) \text{ km s}^{-1}$$

$$W_{\odot} = (6,64 \pm 0,04) \text{ km s}^{-1}$$

- Galaktocentrična brzina Sunca u pravcu rotacije
 Mlečnog puta:

$$\dot{Y}_{\odot} = V_c + V_{\odot} = 220 + 5,23 = 225,23 \text{ km s}^{-1}$$

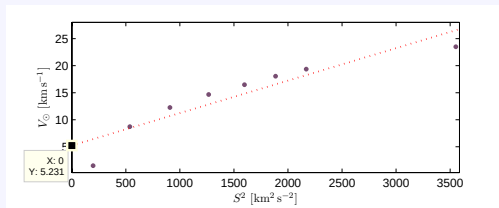


Figure: Zavisnost V komponente prostorne brzine od S^2 posle eliminacije osam zvezda sa najvećim prostornim brzinama. Isprekidana linija odgovara linearnoj aproksimaciji zavisnosti, (2) kvadratnim simbolom je označena tčka preseka sa ordinatom.

$$\begin{aligned} V_{\odot} &= p_1 (S^2) + p_2 \\ p_1 &= 0,006 \quad (0,003; 0,008) \\ p_2 &= 5,23 \quad (0,87; 9,59) \end{aligned}$$



Zvezde haloa

Table: Zvezde klasifikovane u halo Mlečnog puta.

No.	$\dot{x}$	$\dot{y}$	$\dot{z}$	v	π [mas]	r [pc]
HIP 69232	21,07	-414,44	38,94	417,55	6,8	147,06
HIP 24316	-208,95	-349,03	16,15	418,2	14,55	68,73
HIP 41661	256,55	-329,49	14,31	418,22	11,03	90,66
HIP 68321	288,91	-270,99	4,88	423,25	5,37	186,22
HIP 11729	-293,52	-293,43	37,94	424,91	5,41	184,84
HIP 57265	-376,90	-226,40	30,95	448,22	6,14	162,87
HIP 86443	-366,46	-251,14	38,32	451,15	8,35	119,76
HIP 36878	289,69	-377,82	40,05	488,92	6,33	157,98

- Kružna brzina: $V_c = (220 \pm 20) \text{ km s}^{-1}$, MAU (Kerr & Lynden-Bell, 1986)
- Galaktocentrična brzina Sunca u pravcu rotacije Mlečnog puta:

$$\dot{Y}_{\odot} = V_c + V_{\odot} = 220 + 5,23 = 225,23 \text{ km s}^{-1}$$

- Galaktocentrična brzina zvezda:

$$\dot{Y} = \dot{Y}_{\odot} + \dot{y}$$



Indeks boje

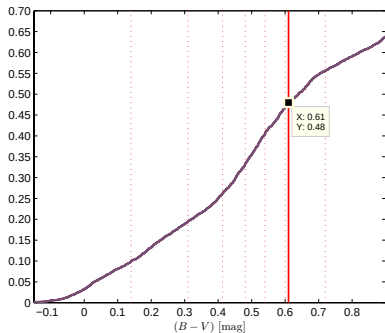


Figure: Kumulativna raspodela indeksa boje ($B - V$).
 Označena tačka na $(B - V) = 0,61$ mag je Parenagov diskontinuitet.

Table: Intervali indeksa boje po grupama. U poslednjoj vrsti sa oznakom grupe "P" je Parenagova grupa.

Grupa	$(B - V)$	n
1	$-0,331 \leq (B - V) < 0,140$	435
2	$0,140 \leq (B - V) < 0,310$	446
3	$0,310 \leq (B - V) < 0,413$	304
4	$0,413 \leq (B - V) < 0,481$	331
5	$0,481 \leq (B - V) < 0,540$	330
6	$0,540 \leq (B - V) < 0,620$	373
7	$0,620 \leq (B - V) < 0,720$	329
8	$0,720 \leq (B - V) \leq (B - V)_{\max}$	2 048
P	$0,610 \leq (B - V) \leq (B - V)_{\max}$	2 415



Umesto tabela

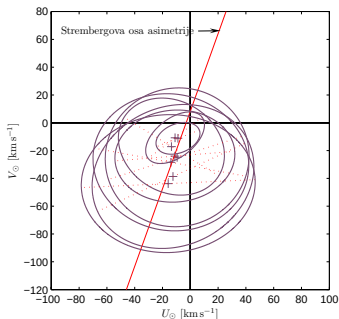
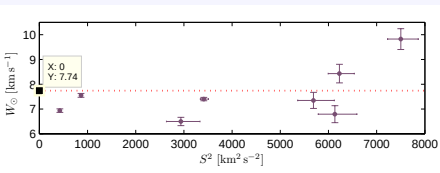
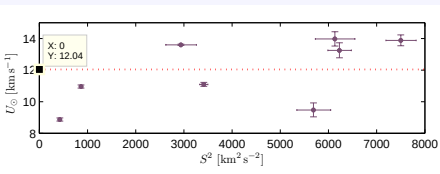
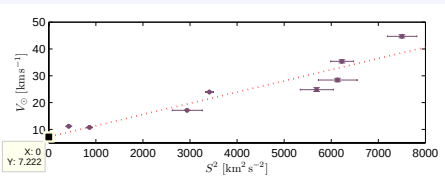


Figure: Projekcije elipsoida brzina svih 8 grupa na UV ravan. Isprekidana linija označava projekciju najveće ose svakog elipsoida brzina, a znakom “+” su označeni centri elipsi. Punom linijom je naznačena Strembergova osa asimetrije, $l = 70^\circ + 180^\circ = 250^\circ$.

Table: Elementi elipsoida brzina za grupe od 1–8. U poslednjoj vrsti sa oznakom grupe “P” dati su rezultati za grupu Parenagovog diskontinuiteta.

Grupa	σ_U [km s $^{-1}$]	σ_U/σ_V	σ_U/σ_W
1	$16,46^{+0,13}_{-0,12}$	$1,57^{+0,02}_{-0,02}$	$2,44^{+0,04}_{-0,04}$
2	$24,41^{+0,14}_{-0,13}$	$1,75^{+0,02}_{-0,02}$	$2,84^{+0,03}_{-0,03}$
3	$40,02^{+3,26}_{-3,17}$	$1,22^{+0,10}_{-0,10}$	$2,46^{+0,24}_{-0,23}$
4	$51,93^{+1,08}_{-2,02}$	$1,04^{+0,04}_{-0,04}$	$2,27^{+0,14}_{-0,14}$
5	$56,35^{+2,68}_{-2,60}$	$1,15^{+0,07}_{-0,06}$	$2,37^{+0,18}_{-0,18}$
6	$59,81^{+1,14}_{-1,11}$	$1,20^{+0,05}_{-0,05}$	$1,99^{+0,07}_{-0,07}$
7	$62,57^{+3,52}_{-3,43}$	$1,26^{+0,09}_{-0,09}$	$1,80^{+0,18}_{-0,17}$
8	$43,19^{+0,59}_{-0,58}$	$1,31^{+0,04}_{-0,04}$	$2,02^{+0,03}_{-0,03}$
P	$46,36^{+0,50}_{-0,48}$	$1,27^{+0,03}_{-0,03}$	$1,98^{+0,04}_{-0,04}$





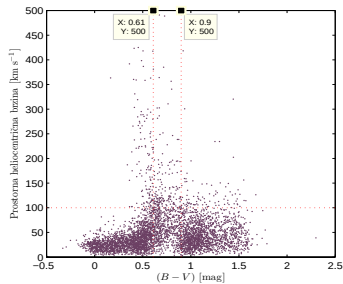
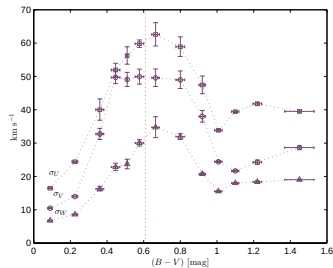
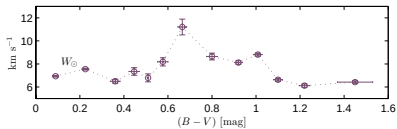
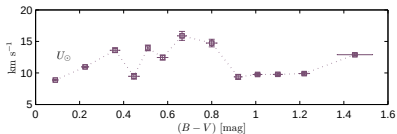
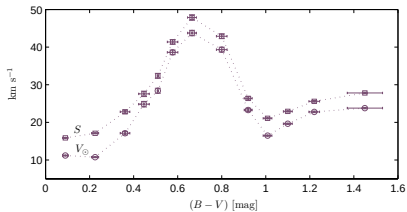
- Kretanje Sunca u odnosu na LSM:

$$\begin{aligned} U_{\odot} &= (12,04 \pm 0,05) \text{ km s}^{-1} \\ V_{\odot} &= (7,22 \pm 0,06) \text{ km s}^{-1} \\ W_{\odot} &= (7,74 \pm 0,04) \text{ km s}^{-1}. \end{aligned} \quad (3)$$

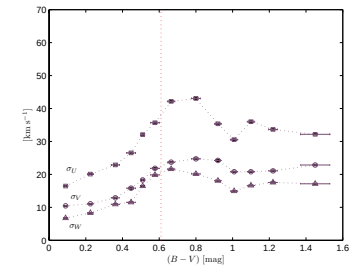
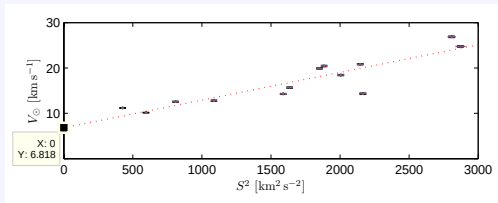
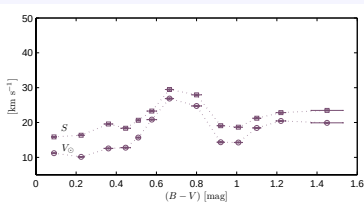
- Galaktocentrična brzina Sunca u pravcu rotacije Mlečnog puta:

$$\dot{Y}_{\odot} = V_c + V_{\odot} = 220 + 7,22 = 227,22 \text{ km s}^{-1}$$





- Provera hipoteze:
 nedostatak zvezda sa malim brzinama, pojačan uticaj zvezda sa velikim brzinama.



- Kretanje Sunca u odnosu na LSM:

$$U_{\odot} = (9,59 \pm 0,05) \text{ km s}^{-1}$$

$$V_{\odot} = (6,82 \pm 0,05) \text{ km s}^{-1}$$

$$W_{\odot} = (7,40 \pm 0,04) \text{ km s}^{-1}.$$

(4)

- Galaktocentrična brzina Sunca u pravcu rotacije Mlečnog puta:

$$\dot{Y}_{\odot} = V_c + V_{\odot} = 220 + 6,82 = 226,82 \text{ km s}^{-1}$$



- Model Mlečnog puta: Ninković, 1992.
- Model potencijala: Miyamoto & Nagai, 1975.
- Formirane su veličine:

$$R_m = \frac{R_a + R_p}{2}, \quad e_p = \frac{R_a - R_p}{R_a + R_p}, \quad e_v = \frac{\frac{1}{2} (|Z_a| - |Z_p|)}{R_m}.$$

e_v – vertikalni ekscentricitet

e_p – planarni ekscentricitet

što su e_v i e_p veći, putanje više odstupaju od kružnice u ravni Mlečnog puta.



- Program `orbite.m`
- nekoliko zvezda izašlo iz polja potencijala (izuzetno velike vrednosti e_v)
- Zvezde sa ekscentricitetima $e_v > 0,3$ i $e_p > 0,8$ po obliku i veličini putanje pripadaju halou.
- U uzorku ih ima 86, ili **1,9%**

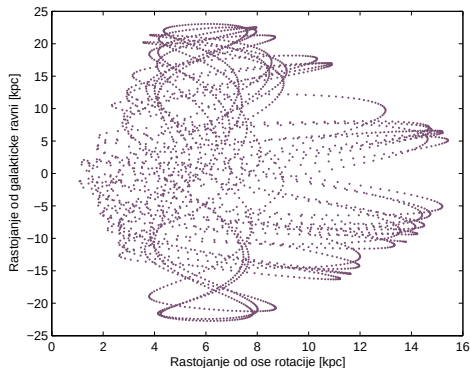


Figure: Oblik i veličina putanje tipične zvezde koja pripada halou Mlečnog puta.



- Zvezde sa ekscentricitetima $(0,08 < e_v < 0,3) \wedge (0,5 < e_p < 0,8)$ po obliku i veličini putanje pripadaju debelom disku.
- U uzorku ih ima 270, ili **5,9%**

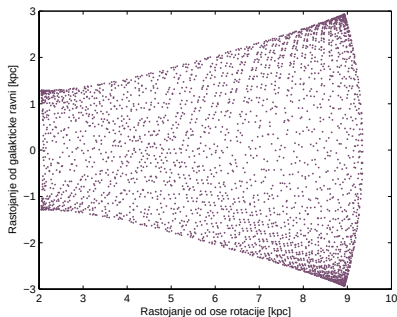


Figure: Oblik i veličina putanje tipične zvezde koja pripada debelom disku Mlečnog puta.

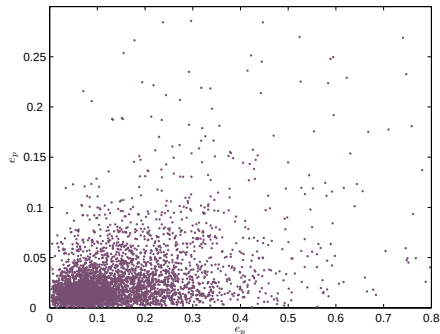


Figure: Raspodela ekscentriciteta za deo uzorka $e_v < 0,3$, i $e_p < 0,8$ koji sadrži 4528 zvezda.



- Zvezde sa ekscentricitetima ($e_v < 0,08$) $\wedge$ ($e_p < 0,5$) po obliku i veličini putanje pripadaju tankom disku.
- U uzorku ih ima 4 258, ili **92,3%**

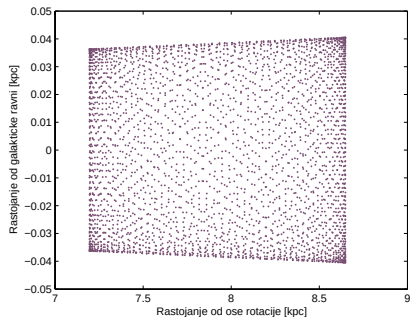


Figure: Oblik i veličina putanje tipične zvezde koja pripada tankom disku Mlečnog puta.

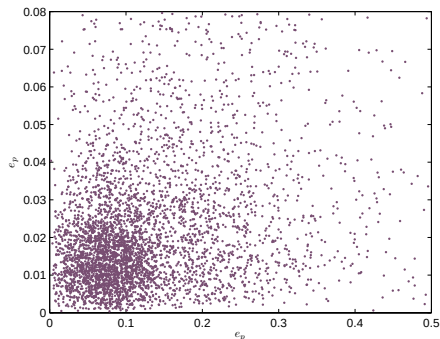


Figure: Raspodela ekscentriciteta za deo uzorka $e_v < 0,08$, i $e_p < 0,5$ koji sadrži 4258 zvezda.



Zaključci

- 1 Izabran je katalog ARIHIP i selektovan uzorak od 4 614 zvezda;
- 2 Izvedene su komponente Sunčevog kretanja u odnosu na LSM (tabela);
- 3 Ispitana je raspodela zvezda po prostornim brzinama metodom kumulativnog broja; Nađeno je da zvezde sa prostornim brzinama do 100 km s^{-1} pripadaju tankom disku;
- 4 Ispitana je raspodela zvezda po prostornim brzinama u zavisnosti od indeksa boje; Oko Parenagovog diskontinuiteta nađen je veći maksimum od očekivanog, a posle njega osetan pad $V_{\odot}$ i disperzija brzina; Ova dva efekta pripisana su selektivnosti kriterijuma za formiranje uzorka i prirodnoj pojavi – Hercšprungov procep; Nakon korekcije uzorka za zvezde sa prostornim brzinama većim od 100 km s^{-1} dobijeni su zadovoljavajući rezultati;
- 5 Izračunate su galaktocentrične putanje zvezda; izdvojeni su podsistemi: tanki disk (92%), debeli disk (6%) i halo (2%).

Table: Uporedni prikaz Sunčevog kretanja.

Autor	$U_{\odot}$	$V_{\odot}$	$W_{\odot}$
Dehnen & Binney (1998)	$10,00 \pm 0,36$	$5,25 \pm 0,62$	$7,17 \pm 0,38$
Bienaymè (1999)	$9,7 \pm 0,3$	$5,2 \pm 1,0$	$6,7 \pm 0,2$
Hogg et al (2005)	$10,7 \pm 0,5$	$4,0 \pm 0,8$	$6,7 \pm 0,2$
rezultat 1	$8,18 \pm 0,05$	$5,69 \pm 0,06$	$6,63 \pm 0,04$
rezultat 2	$8,17 \pm 0,05$	$5,23 \pm 0,07$	$6,64 \pm 0,05$
rezultat 3	$12,04 \pm 0,05$	$7,22 \pm 0,06$	$7,74 \pm 0,04$
rezultat 4	$9,59 \pm 0,05$	$6,82 \pm 0,05$	$7,40 \pm 0,04$



Prezentacija preliminarних rezultata magistarske teze
održana na seminaru Departmana za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta
u Novom Sadu, 20. marta 2008. godine.

