



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



29 JYH 2007

0603 9/599

Studijska grupa: astronomija (sa astrofizikom)

Vidjenje Mlečnog puta kroz Sunčево susedstvo

- diplomski rad -

Mentori: dr Slobodan Ninković
prof. dr Svetlana Lukić

Kandidat: Kristina Čajko

Novi Sad, jul 2007.

Sadržaj:

Uvod	1
Glava I	2
1.1. Istorijski pregled	2
1.2. Trigonometrijska paralaksa	6
1.3. Određivanje rastojanja putem brzina zvezda	8
1.3.1. Sopstveno kretanje	9
1.3.2. Tangencijalna brzina	10
1.3.3. Radijalna brzina	11
1.4. Magnitude zvezda	12
1.4.1. Prividna magnituda	13
1.4.2. UVB sistem magnituda	14
1.4.3. Indeks boje	15
1.4.4. Apsolutna magnituda	16
1.4.5. Bolometrijska magnituda	17
Glava II	18
2.1. Određivanje mase zvezda	18
2.1.1. Relacija masa – sjaj	20
2.2. Klasifikacija zvezda	20
2.3. HR dijagram	23
Glava III	25
3.1. Kinematika Sunčevog susedstva	25
3.1.1. Devijacija verteksa	27
3.1.2. Schwarzschild – ova raspodela	28
3.2. Položaj Sunca u MP	29

3.3. Kinematika Sunca i zvezda u MP	30
3.4. Dinamika u MP	32
Glava IV	34
4.1. Metaličnost u Mlečnom putu	34
4.2. Korona	36
4.3. Halo	38
4.4. Disk	40
4.5. Centralni oval i jezgro MP	43
Zaključak	44
Literatura	45
Biografija	46

Uvod

Pod Sunčevom okolinom podrazumevamo oblast oko Sunca u kojoj se nalaze i druge zvezde i čiju paralaksu možemo izmeriti. Ta oblast nije veća od 100 pc (poluprečnik). Trigonometrijski metod je jedini neposredan metod za određivanje udaljenosti do nebeskih tela. Ima kratak domet – efektivno oko 100 pc. Zbog toga se moraju koristiti i alternativni metodi. Postoji sekularna paralaksa, statistička paralaksa, dinamička paralaksa, grupna paralaksa itd. Svi oni daju rastojanja na neki posredan način. Najbolje je da se ako je moguće kombinuju različiti metodi. Danas su heliocentrična rastojanja poznata za ogroman broj objekata Mlečnog puta i tačnost im je uprkos svemu zadovoljavajuća.

Koristeći se obiljem informacija koje su nam dostupne od zvezda iz Sunčeve okoline, saznajemo kakav je položaj Sunca u MP, upoznajemo prirodu Sunčevog kretanja i kinematičke elemente koji to opisuju. Znajući kako se Sunce kreće u MP možemo saznati kako se i ostale zvezde u Galaksiji kreću.

Cilj ovog rada jeste da se da prikaz strukture MP služeći se kretanjem i karakteristikama zvezda koje možemo proučavati i analizirati.

Ovaj rad se sastoji iz četiri poglavlja. U prvom poglavlju je dat istorijski opis galaktičke astronomije, razmišljanja astronoma o strukturi MP, kao i pokušaji da se odredi položaj Sunca u MP. Uvode se pojmovi kao što je trigonometrijska paralaksa i ukazuje se na njen značaj, zatim parsek, svetlosna godina, kao i pojmovi vezani za određivanje brzine kretanja i rastojanja zvezda.

U drugom poglavlju se govori o načinu određivanja masa zvezda, zatim se spominje spektralna klasifikacija zvezda sa svim karakteristikama. Ukazano je na značaj HR – dijagrama.

U trećem poglavlju se govori o kinematici zvezda iz Sunčeve okoline i o kretanju i položaju Sunca u odnosu na MP. Takođe je razmatrano kretanje zvezda različitih podsistema.

Četvrto poglavlje je posvećeno strukturi MP i njegovim podsistemima koji su svaki ponaosob analizirani.

Glava I

1.1. Iсторијски пregled

Ono što je ljudski um vekovima zaokupljalo i bila prava nepoznanica jeste nebeski svod, kao i same pojave koje su se na njemu mogle uočiti. Svetlost koja se noću prostire preko celog horizonta bila je prava intrig za čoveka kao i predmet mnogih mitova i legendi. Reč ''galaksija'' potiče od grčke reči *galaxias* ($\gamma\alpha\lambda\alpha\zeta\imath\alpha\varsigma$) što znači mleko, dok su taj isti pojam Rimljani zvali ''Via Lactea'' ili Mlečni put. Tek je Galileo Galilej gledajući kroz teleskop 1610. godine otkrio da se Mlečni put (MP) sastoji od mnoštva zvezda koje se nisu mogle videti golim okom. Smatrano je da svetlost koja se mogla videti svake noći potiče od te ogromne skupine zvezda koje oni nazivaju zvezdani sistem.

Sredinom XVIII veka Immanuel Kant ističe mogućnost da je prividan izgled MP možda sličan po uređenju kao Sunčev sistem ali na velikim skalama. Takođe objašnjava da se gravitaciona privlačna sila, ista ona koja deluje između Sunca i planeta, javlja između zvezda i da bi zvezdani sistem trebalo da ima diskoliku strukturu kao i da poseduje rotaciono kretanje radi balansa unutrašnje gravitacione sile. Istiće mogućnost postojanja i drugih zvezdanih sistema osim MP. Krajem XVIII veka Charles Messier pravi katalog od 109 najsjajnijih maglina severnog neba radi boljeg raspoznavanja zvezda od kometa koje je su bile predmet njegovog proučavanja. William Herschel, njegova sestra Caroline Herschel i njegov sin John, prave katalog od oko 5000 maglina.



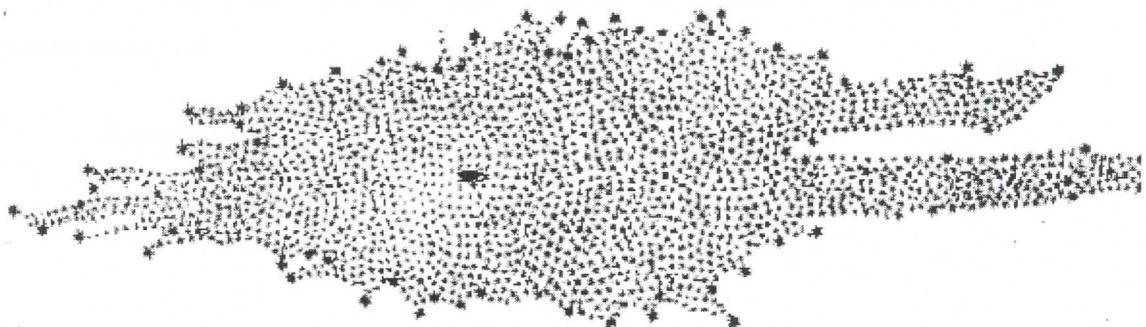
Slika 1.1.
Skica spiralne magline M51

U XIX veku razvoj teleskopa doprineo je poboljšanju u posmatračkoj astronomiji. Godine 1845 kada je napravljen teleskop od 72 inča (183 cm), William Parsons posmatra

tamne magline sa mnogo više detalja nego što se to ranije moglo. Koristeći se podacima iz Herschelovog kataloga i na osnovu sopstvenog ispitivanja posmatrane objekte svrstava u dve kategorije: eliptične i nepravilne sa spiralnom strukturu. Skica jedne takve magline je prikazana na Sl. 1.1.

Početkom XX veka pojava fotografije u astronomiji omogućila je detaljnije i praktičnije ispitivanje MP.

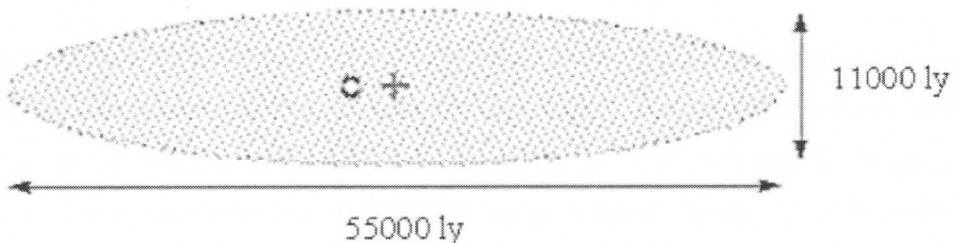
William Herschel je pokušao da utvrdi oblik MP putem metoda koji je nazvao zvezdano odmeravanje (star gauging). Zvezde je posmatrao sa 683 različita dela neba, koje je sa velikim i mučnim naporom izbrojao. Posmatrao je one zvezde koje su mu u zavisnosti od prividnog sjaja bile dozvoljene. Zatim je pretpostavio da sve zvezde imaju u proseku isti sjaj, da su ravnomerno raspoređene po MP, kao i to da može da vidi zvezde koje se nalaze na samom rubu ovog ogromnog sistema. Na osnovu ovih prepostavki bio je u mogućnosti da mapira raspodelu zvezda u MP. Zaključuje da su zvezde skoncentrisane u samoj ravni MP, da je raspodela zvezda spljoštena i da je njihova koncentracija oko pet puta veća u pravcu ravni MP nego u pravcu koji je normalan na ravan MP (Slika 1.2.). S obzirom da nije znao stvarnu vrednost apsolutne zvezdane veličine, zvezda koje je merio, nije mogao da da tačnu vrednost veličine ovog sistema. Ono što je zanimljivo jeste to da je on zapravo posmatrao samo jedan odsečak galaksije, uticaj međuzvezdane materije njemu nije bio poznat i sve to je imalo za posledicu da tvrdi da Sunce leži u centru ove raspodele.



Slika 1.2.
Herschel-ova slika Mlečnog puta

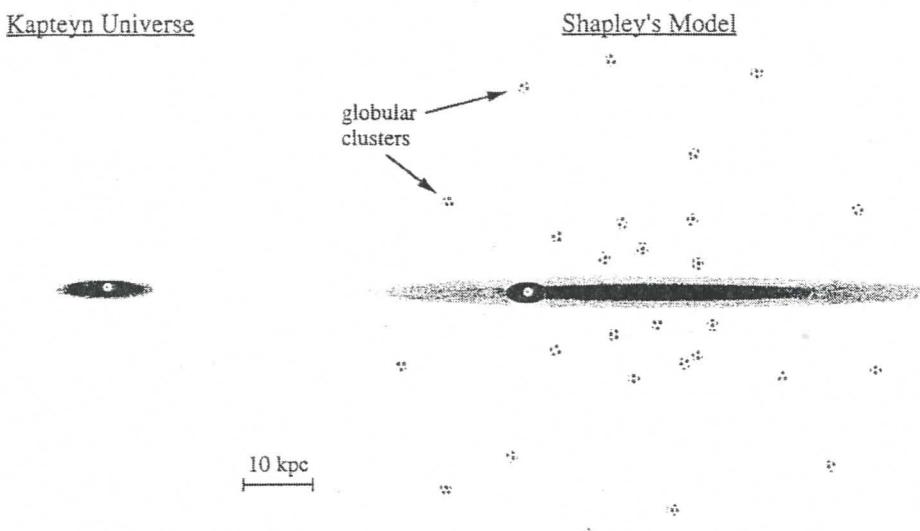
Jacobus Kapteyn se podvrgnuo sličnom istraživanju kao i Herschel koristeći mnogo više podataka koji su dobijeni putem fotografskih ploča. U saradnji sa mnogim astronomima širom sveta napravljene su analize fotografija neba na kojima su izbrojane zvezde različitih magnituda i sopstvenih kretanja. Merenjem sopstvenih kretanja izračunao je prosečne udaljenosti za date skupove zvezda. Merio je spektar ovih zvezda radi određivanja brzina udaljavanja i približavanja. Dao je trodimenzionu raspodelu zvezda u svemiru nazvanu Kapteynov svemir. Zaključuje kao i Herschel da smo locirani blizu centra ove sferoidne distribucije koja se prostire pet puta više u pravcu ravni MP nego u pravcu koji je normalan

na tu ravan (Slika 1.3.). Koncentracija zvezda ravnomerno opada sa udaljavanjem od centra MP. Tačnije koncentracija zvezda padne na pola od svoje maksimalne vrednosti kada se nađemo na rastojanju od 2608 ly od centra u ravni MP. Na rastojanju od 9128 ly gustina zvezda opadne na 10% od centralne vrednosti, dok na 27710 ly gustina opadne na 1%. Sunce se nalazi na 2119 ly od centra galaksije.



Slika 1.3.
Kapteyn-ov Svemir

Harlow Shapley (1918) je imao sasvim drugačiji pogled na sam izgled Mlečnog puta. Proučavao je globularna ili zbijena jata (zvezdani sistem koji ima u proseku 10^4 - 10^6 zvezda). Po njemu ovi zvezdani sistemi nemaju ravnomernu distribuciju u ravni MP, iako grubo rečeno postoji relativno isti broj tih zvezdanih sistema sa obe strane ravni MP. Raspodela ovih zvezdanih sistema je usmerena ka centru sazvežđa Strelac (Sagittarius). Velika simetrija u raspodeli globularnih jata ukazivala je da nismo blizu centra MP što je u suprotnosti sa Kapteyn-ovim viđenjem. Ilustracija koja pokazuje razlike u veličini i strukturi MP je prikazana na Sl. 1.4.



Slika 1.4.
Poređenje dva tipa modela

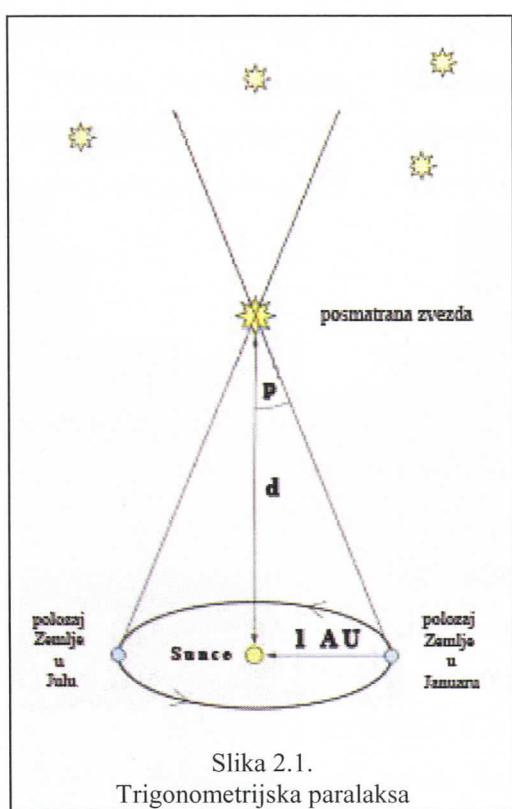
Na osnovu merenja koje je izvršio putem promenljivih zvezda, dolazi do izvesnih podataka. Nalazi da je Sunce 48900 ly udaljeno od centralne distribucije globularnih jata. Dužina MP iznosi 326000 ly što je skoro 6 puta duže nego kod Kapteyna.

Edwin Hubble (1923) je posmatrajući miride u Andromedinoj maglini (M31) zaključio da njihov sjaj periodično varira slično kao kod cefeida. Mereći periode sjaja odredio je luminoznost. Znajući njihove prividne veličine dobijamo rastojanja; M31 je 300 kpc udaljena od nas.

Bertil Lindblad je 1927. godine razvio jedan drugi model MP koji je naizgled dobro objašnjavao njegovu strukturu u skladu sa kretanjem njegovih pojedinih delova usled uzajamnog gravitacionog privlačenja. MP se sastoји iz više podistema od kojih je svaki simetričan u odnosu na centralnu osu rotacije celog sistema. Svaki od ovih podistema ima svoju karakterističnu brzinu kojom se kreće. Stepen spljoštenosti svakog podistema zavisi od toga da li je njihovo kretanje rotaciono ili nasumično (proizvoljno). S obzirom da sve zvezde u Sunčevoj okolini imaju male brzine kretanja u odnosu na Sunce, Lindblad zaključuje da se one kreću po uređenim kružnim orbitama što ima za posledicu da je centralni disk MP u velikoj meri spljošten ili poravnan. Mereći brzinu Sunca i okolnih zvezda u odnosu na prosečnu brzinu nerotirajuće populacije zbijenih zvezdanih jata, za koje smatra da obrazuju podsisteme koji ne rotiraju, zaključuje da brzina rotacije za zvezde diska MP na mestu gde se nalazi Sunce iznosi 200-300 km/s.

Robert J. Trumpler 1930. godine pronalazi da je svetlost koja dolazi sa zvezda na putu do nas jednim delom apsorbovana od strane međuzvezdane prašine. Prašina ima takav uticaj da čini zvezde tamnijima nego što one zaista jesu, kao i da izaziva efekat crvenila na zvezdama. To je kasnije objasnilo uzrok zašto su pojedini istraživači, kao Kapteyn i drugi, stavljali Sunce u centar MP.

1.2. Trigonometrijska paralaksa



Dugo godina se nije moglo izmeriti paralaktičko pomeranje ni za jednu zvezdu. Postojale su dve opcije koje su ovo mogle opravdati: ili se Zemlja ne kreće oko Sunca (što je išlo u prilog geocentričnoj teoriji) ili su zvezde tako jako udaljene od nas da se iz dve suprotne tačke na Zemljinoj orbiti zvezda vidi u jednom istom pravcu. Kada je dokazana, u XVIII veku, revolucija Zemlje otkrićem aberacije svetlosti od strane J. Bradleya, došlo se do izvesnih zaključaka. Velike udaljenosti zvezda su razlog zbog kojih paralaksa nije mogla biti izmerena. Jednostavno, pokušaji da se izmere paralakse zvezda su bili tada bezuspešni zbog poteškoća merenja vrednosti manjih od jedne lučne sekunde. Pokušaja da se ona izmeri je oduvek bilo jer je to išlo u prilog heliocentričnoj teoriji.

U toku godišnjeg kretanja Zemlje po svojoj orbiti oko Sunca, pravac sa kojeg se sa Zemlje vidi neka zvezda se menja tokom godine. Prepostavimo da se Zemlja u nekom svom periodu kretanja nalazi u položaju koji je naznačen na Sl. 2.1. Posle šest meseci Zemlja će se nalaziti na dijametralno suprotnom položaju od Sunca i zvezda se pojavljuje u drugom pravcu. Tako dobijena mala orbita predstavlja projekciju Zemljine orbite na nebesku sferu. **Trigonometrijska paralaksa** zvezde je najveći ugao pod kojim bi se sa zvezde mogao videti radijus Zemljine orbite normalno na pravac Sunce – zvezda.

Pošto je rastojanje Zemlje od Sunca, koje ćemo obeležiti sa a i iznosi 1 AU, mnogo manje od rastojanja Sunce – zvezda, označeno sa d , $a \ll d$ tada je:

$$\begin{aligned} \operatorname{tgp} &\approx p[\text{rad}] \\ \operatorname{tgp} &= \frac{a}{d} \end{aligned}$$

Pošto $1\text{rad} = 206265''$, pretvarajući u lučne sekunde imamo $p[''] = 206265p[\text{rad}]$ i definisanjem **astronomске jedinice AJ** (astronomical unit AU) kao $a = 1\text{AU}$, sledi:

$$d = \frac{206265}{p['']} \text{AU}.$$

Daljina do zvezda je izražena istim jedinicama kao što je i srednji radius Zemljine orbite. Pošto je $a = \text{const}$ zaključujemo da što je rastojanje na kojem se nalazi zvezda d dalje njena izmerena paralaksa p će biti manja.

Takođe treba pomenuti još jednu od fundamentalnih jedinica koje se koriste za obeležavanje rastojanja a to je **parsek**. Parsek (pc) je definisan kao rastojanje na kojem bi zvezda imala paralaksu od $1''$. Po definiciji rastojanje do zvezde iznosi:

$$d = \frac{1}{p[']} [\text{pc}] \quad (1.1)$$

Takođe važi:

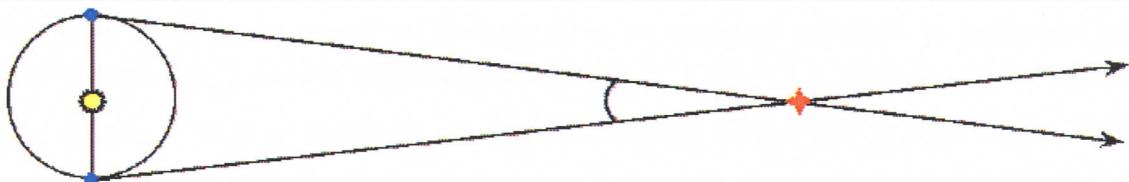
$$1\text{pc} = 206265\text{AU} = 3.086 \times 10^{13}\text{km} = 3.26\text{ly}$$



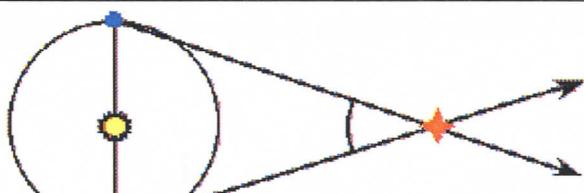
Slika 2.2.
Hipparcos satelit, ESA

Na većim rastojanjima koristimo kiloparsek (kpc), a na rastojanjima između galaksija, dakle još većim, megaparsek (Mpc).

Prvu zvezdanu paralaksu je izmerio F. W. Bessel 1838. godine za zvezdu 61 Cygni i iznosila je $0''.29$. Za zvezde koje se nalaze na još većim daljinama, i do 500 pc, moguće je meriti paralaksu pomoću astrometrijskog satelita Hipparcos (Sl. 2.2.). Hipparcos direktno i preciznije meri mnogo veća rastojanja do zvezda, koja sa Zemlje nije moguće izmeriti. Izmerio je tačne položaje i trigonometrijske paralakse za više od 120 000 zvezda. Najveća paralaksa koja je izmerena je za α Centauri i iznosi $0''.75$, a odgovarajuće rastojanje je 1.3 pc. Druga po veličini izmerena paralaksa je $0''.55$ za Barnardovu zvezdu koja je na rastojanju



Slika 2.3.
Što je zvezda dalja izmerena paralaksa je manja



Slika 2.4.
Što je zvezda bliža izmerena paralaksa je veća

od 1.8 pc. Dakle sa povećavanjem udaljenosti zvezda vrednost paralakse se smanjuje i obrnuto, što su izmerene paralakse zvezda veće to su nam one bliže (Sl. 2.3. i Sl. 2.4.). Hipparcos meri paralakse zvezda sa greškom od 1 mas (milli-arcseconds) ili sa greškom od hiljaditog dela lučne sekunde. Za zvezde na rastojanju od 200 pc ($p = 0.005$) paralaksa je izmerena sa greškom od 20%.

Trigonometrijska paralaksa je od velikog značaja. Poznavanje prave udaljenosti zvezda nam pomaže da utvrdimo stvarni sjaj skoro svakog nebeskog tela. Takođe nam pomaže u postavljanju skala za razdaljinu čitavog svemira.

1.3. Određivanje rastojanja putem brzina zvezda

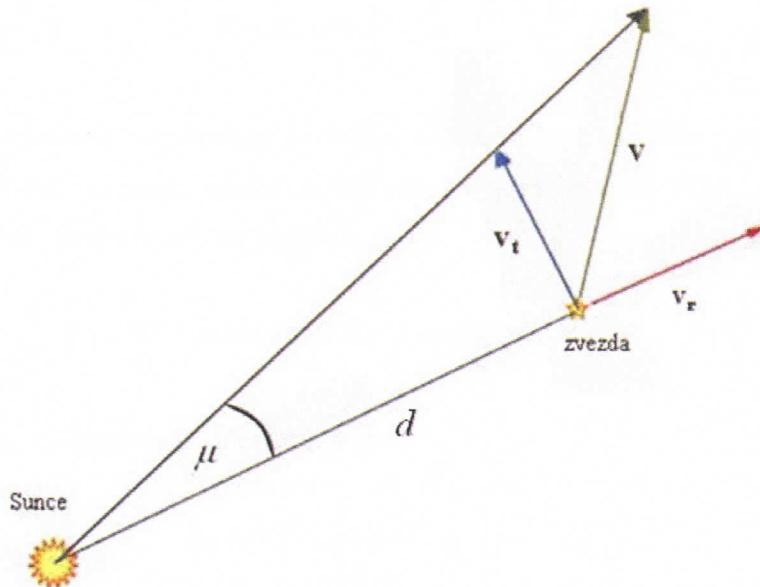
Skoro više od dva veka je postojalo verovanje, usled nedovoljno dokaza za suprotno, da su zvezde na neki način fiksirane na nebeskoj sferi. Razlog tom verovanju jeste taj da su sjajnije zvezde ostajale, ili se pak činilo da ostaju, u sklopu istih konfiguracija sazvežđa iz godine u godinu, iz veka u vek. Edmund Halley je 1718. godine uvideo da su se položaji triju najsjajnijih zvezda Sirijusa, Aldebarana i Arktura promenili u odnosu na položaje u kojima su se nalazili, pre devetnaest vekova, u doba Hiparha.

Usled rotacije Zemlje, kao i njene revolucije, čini nam se da se zvezde kreću, to je takođe prividno kretanje zvezda. Osim ovog kretanja postoji i pravo kretanje ovih zvezda u različitim pravcima u prostoru. Sa naše tačke gledišta, a i zbog ogromnih udaljenosti čini nam se da se ove zvezde uopšte ne kreću ili čak možda malo pomeraju. Da bi ova prava kretanja bila uočljiva potrebni su nam ogromni vremenski periodi.

Kada posmatramo bilo koju zvezdu na nebeskoj sferi njeno kretanje razlažemo na dve komponente: na komponentu duž vizure i na komponentu koja je normalna na pravac vizure. Dakle da bi se odredilo zvezdano kretanje kroz prostor (\mathbf{v}) potrebno je poznavati njenu *radikalnu brzinu* (v_r) i njenu *tangencijalnu brzinu* (v_t) (Sl. 3.1.). Na slici vidimo prostorno brzinu zvezde \mathbf{v} koja je razložena na vektor radikalne brzine duž pravca vizure i vektor tangencijalne brzine normalno na pravac vizure. Rastojanje do zvezde je obeleženo sa r , a sa μ je obeleženo sopstveno kretanje zvezde. Koristeći Pitagorinu teoremu, prema slici, prostorno kretanje zvezde se računa po sledećoj formuli:

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= v_t^2 + v_r^2 \\ v &= \sqrt{v_t^2 + v_r^2} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Da bismo uopšte mogli primeniti ovu formulu potrebno nam je da znamo kako se računaju komponente brzine (v_r) i (v_t).



Slika 3.1.
Prostorna brzina zvezde razložena na komponente

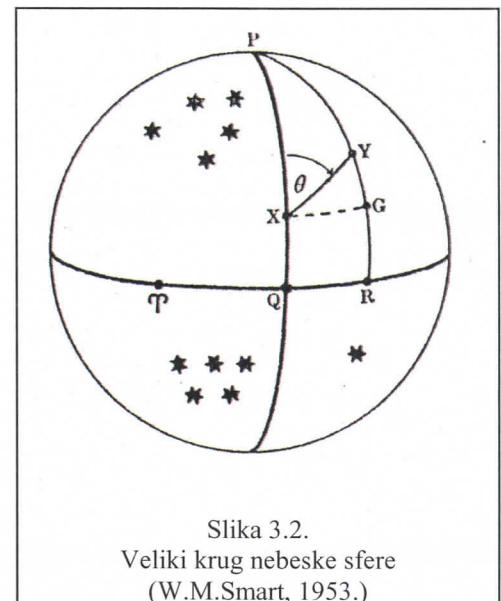
1.3.1. Sopstveno kretanje

Posmatrajmo veliki krug nebeske sfere sa Sl. 3.2. Sa X je obeležen položaj proizvoljne zvezde na nebeskoj sferi u nekom trenutku vremena. Posle godinu dana zvezda se pomera u tačku Y , krećući se po luku XY . Promena pravca u kojem vidimo zvezdu u toku jedne godine naziva se **sopstveno kretanje** i obeležava se sa μ , na slici luk XY . Luk XY gradi ugao θ sa meridijanom u tački X koji se naziva pozicioni ugao sopstvenog kretanja i može se meriti od 0^0 - 360^0 stepeni.

PXQ i PYR su lukovi meridijana koji prolaze kroz tačke X i Y , a XG je dnevni paralel paralela deklinacije kada se zvezda nalazi u položaju X . Znači ukupno sopstveno kretanje zvezde je posledica godišnje promene njene rektascenzije μ_α i njene godišnje promene deklinacije koje obeležavamo sa μ_δ . Primenjujući na sliku imamo da je

$$QR = \mu_\alpha \text{ i da je } GY = \mu_\delta \quad (3.2)$$

Koristeći da je $XG = QR \cos \delta$ i prethodni zapis imamo da je:



Slika 3.2.
Veliki krug nebeske sfere
(W.M.Smart, 1953.)

$$XG = \mu_\alpha \cos \delta \quad (3.3)$$

S obzirom da je vrednost sopstvenog kretanja zvezde tokom godine zaista mala veličina, trougao XYG možemo smatrati ravnim trouglom u kojem je ugao YGX pravougli, a ugao YXG iznosi $90^\circ - \theta$. Stoga možemo pisati da je

$$XG = \mu \sin \theta, \quad GY = \mu \cos \theta \quad (3.4)$$

Koristeći (3.3) i (3.4) dolazimo do sledećih zapisa:

$$\mu_\alpha \cos \delta = \mu \sin \theta \quad (3.5)$$

$$\mu_\delta = \mu \cos \theta \quad (3.6)$$

Dobili smo izraze koji zajedno opisuju sopstveno kretanje zvezda. μ_α se obično izražava u sekundama po godini, dok μ_δ u lučnim sekundama po godini. Dakle, po našoj slici sopstveno kretanje računamo

$$\mu^2 = (\mu_\alpha \cos \theta)^2 + \mu_\delta^2 \quad (3.7)$$

1.3.2. Tangencijalna brzina

Vraćajući se opet na sliku 3.2., znajući rastojanje do zvezde i sopstveno kretanje može se pristupiti izračunavanju tangencijalne brzine. Imamo da je:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \mu &= \frac{v_t}{r} \\ v_t &= \operatorname{tg} \mu \cdot r \approx \mu \cdot r \end{aligned} \quad (3.8)$$

Uzimajući u obzir jednačinu (1.1) sledi izraz za tangencijalnu brzinu izraženu u astronomskim jedinicama po godini:

$$v_t = \mu \left[\frac{\text{"}}{\text{god}} \right] \cdot \frac{1}{p} \left[\frac{\text{AJ}}{\text{"}} \right] = \frac{\mu}{p} \frac{\text{AJ}}{\text{god}}$$

odnosno u kilometrima po sekundi kao:

$$v_t = \frac{\mu}{p} \frac{149597870 \text{ km}}{31536000 \text{ s}} = 4.743 \frac{\mu \text{ km}}{p \text{ s}} \quad (3.9)$$

Dakle znajući rastojanje do zvezde ili njenu paralaksu, kao i njeno sopstveno kretanje možemo izračunati tangencijalnu brzinu.

1.3.3. Radijalna brzina

Pomoću Sopstvenog kretanja smo odredili tangencijalnu brzinu posmatrane zvezde i ostaje nam sada da odredimo još radijalnu brzinu.

Radijalna brzina zvezde je ona brzina kojom se kreće zvezda duž pravca vizure. Ona može biti pozitivna i negativna, i to u zavisnosti da li se posmatrani objekt udaljava od nas ili približava nama tj. posmatraču. Radijalna brzina se meri pomoću Dopplerovog efekta. Sastoji se u prividnoj promeni talasne dužine ili frekvencije kao posledice relativnog kretanja izvora talasa i posmatrača. Znači, ukoliko se recimo neki izvor svetlosti posmatrano sa neke zvezde kreće ka nama ili od nas njegova emitovana frekvencija će se razlikovati od registrovane. Ako sa ν_0 označimo frekvenciju koju je izvesni posmatrani objekat emitovao, detektovana frekvencija od strane posmatrača poprima sledeći oblik:

$$\nu = (1 - \beta) \gamma \nu_0$$

Gde je $\beta = v_r/c$, i $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ i c je oznaka za brzinu svetlosti. Ukoliko je v mnogo manje od c tada je γ jednakoj jedinici, i imamo da je promena frekvencije

$$\begin{aligned} \Delta\nu &= \nu - \nu_0 = -\beta\nu_0 \\ \beta &= -\Delta\nu/\nu_0 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Jednačinu (3.10) možemo izraziti preko talasne dužine koristeći vezu $\lambda = c/\nu$ i uz prethodan zapis (3.10) imamo da je:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = -\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = \frac{v}{c}$$

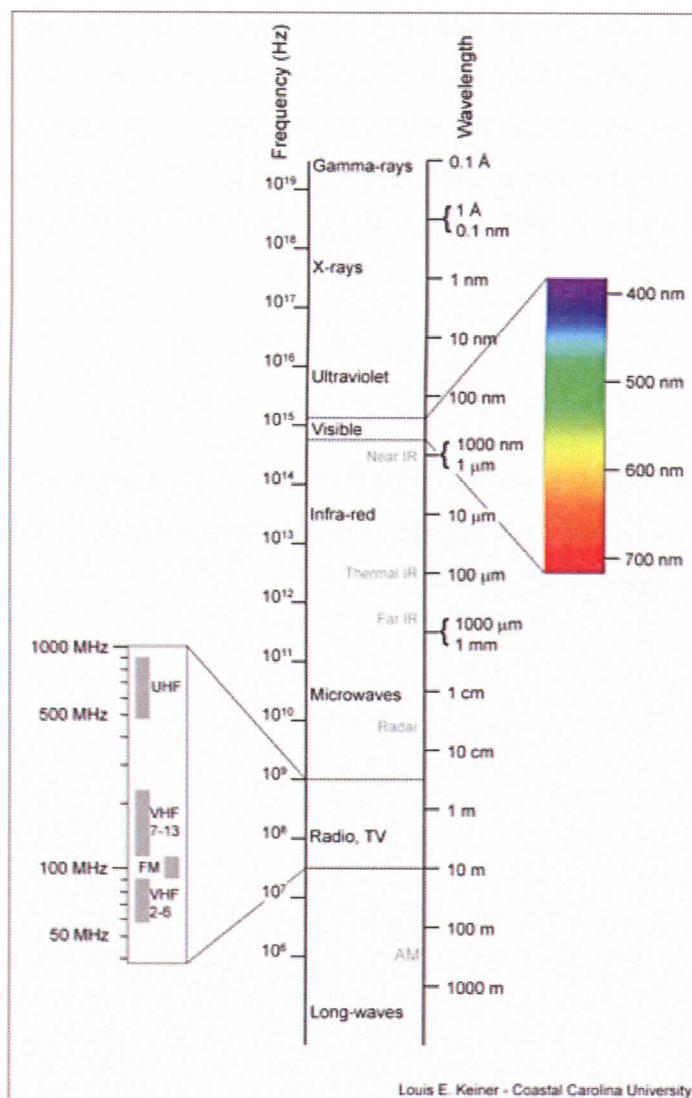
Dopplerov efekt se može iskazati sledećom formulom

$$\Delta\lambda = \frac{\nu_{rad}}{c} \lambda_0 \tag{3.11}$$

Gde je $\Delta\lambda$ razlika između registrovane i emitovane λ_0 talasne dužine. Prethodna formula se korisiti za određivanje radijalne brzine prilikom promene talasne dužine linije u spektru zvezda.

1.4. Magnitude zvezda

Zvezde emituju zračenje u okolni prostor. To zračenje se prostire preko celog elektromagnetskog spektra. Idealno bi bilo kada bi se mogla meriti spektralna raspodela ovakvog zračenja po celom spektru talasnih dužina. Nažalost ovo je onemogućeno iz više razloga. Zemljina atmosfera je za različite talasne dužine elektromagnetskog zračenja različito propustljiva, dok je za neke delove spektra potpuno neprozračna. Zračenje kratkih talasnih dužina je najviše apsorbovano, dakle to su γ (gamma), X i UV (ultraviolet) zračenje. Ono je apsorbovano od strane molekula i atoma kiseonika i azota, takođe je apsorbovano i od strane ozona. Bez obzira na to što se zračenja nebeskih tela u ovim spektralnim oblastima ne mogu izmeriti sa Zemlje, ta merenja se mogu uraditi van atmosfere. Prateći Sl. 4.1. u vidljivoj oblasti elektromagnetskog spektra označenoj sa V (visible) prozračnost atmosfere je oko 80 %.



Slika 4.1.
Elektromagnetski spektr i prozračnost Zemljine atmosfere

U infracrvenom delu spektra ili ti IR (infrared), najveći deo zračenja je apsorbovan od strane vodene pare i ugljen-dioksida. Ovo zračenje je apsorbovano u donjim slojevima atmosfere. Veće talasne dužine 18-20 m odgovaraju radio talasima koji se reflektuju o jonosferske slojeve.

1.4.1. Prividna magnituda

Sjaj zvezde koji vidimo izražavamo u prividnim magnitudama i obeležavamo sa malo m (magnituda). Ovo potiče još iz doba Hiparha, tačnije iz II veka pre nove ere, kada je on sve zvezde vidljive golim okom podelio u šest grupa ili klase u zavisnosti od njihovog sjaja, tačnije sjaja koji je bio vidljiv golim okom. Zvezde prve magnitude su bile najsjajnije, dok zvezde šeste magnitude su bile jedva golim okom vidljive.

Kasnijim tačnijim merenjima sjaja zvezda ovakva Hiparhova podela se mogla izraziti jednim psihofiziološkim zakonom ustanovljenim od strane Webera i Fechnera. Godine 1856, N. R. Pogson primenjuje ovaj zakon na zvezde što znači da geometrijskoj progresiji osvetljenosti odgovara aritmetička progresija prividnih magnitudi. Ne ka su dve zvezde sa magnitudama m_1 i m_2 i osvetljenostima f_1 i f_2 respektivno. Tada imamo da je:

$$m_1 - m_2 = -k \log_{10} \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \quad (4.1)$$

Znak minus je prisutan zbog toga što većem sjaju odgovara manja vrednost magnitude. S obzirom da razlika od 5^m odgovara odnosu dve osvetljenosti jednakom sto, za posmatranu razliku magnituda tj. $(f_1/f_2) = 100$ i $m_1 - m_2 = 5$ sledi prema jednačini (4.1):

$$\begin{aligned} k \log_{10} 10^2 &= 5 \\ 2k &= 5 \\ k &= 2.5 \end{aligned}$$

odnosno:

$$\frac{f_1}{f_2} = 10^{-0.4(m_1 - m_2)} \quad (4.2)$$

1.4.2 *UBV sistem magnituda*

Zvezdama pripisujemo prividne magnitude jer su dobijene posmatranjem golim okom, dakle dobijene su posmatranjem u vidljivom delu spektra za koje je oko najosetljivije. Uzimajući u obzir da zvezda zrači kao absolutno crno telo, njen sjaj, izražen prividnim veličinama, će biti različit u zavisnosti u kojem delu spektra smo merili sjaj. Fotometar, fotoemulzija i oko su prijemnici koji se koriste u vidljivom delu spektra i tako dobijena magnituda se naziva vizuelna (m_v). Meri se u oblasti žuto-zelene boje sa maksimalnom osetljivošću prijemnika na talasnoj dužini od 550 nm. U različitim delovima spektra koristimo različite prijemnike koji za taj deo spektra imaju maksimume osetljivosti.

Danas se najviše koristi UVB sistem magnituda koji su predložili Johnson i Morgan 1953. godine. UVB sistem služi za merenje prividne magnitudo zvezda kroz tri filtera: U sa maksimumom propuštanja na 365 nm, B sa maksimumom propuštanja na 420 nm i V sa maksimumom propuštanja na 540 nm. Uzeto je da za zvezde tipa A0 važi sledeća definicija:

$$B - V = U - B = 0.$$

UVB sistem magnituda koristi kombinaciju uređaja kao što je fotomultiplikator i filtera određenog opsega. Zračenje koje je propušteno filterom se preko uređaja pretvara u električni signal koji se pojačava i posle meri. U Tabeli 4.1. su dati različiti fotometrijski sistemi sa filterima koje koriste. UVB sistem je proširen i preko 1000 nm, U odgovara ultraljubičastom delu spektra, B plavom delu spektra, V vidljivom delu spektra, K odgovara talasnim dužinama u bliskom infracrvenom delu spektra.

Vrednosti koje su dobijene korišćenjem UVB sistema mogu dostizati tačnost od približno 0,01 magnitude.

Johnson i Mitchell su 1965 dodali još nekoliko traka RIJKLMN koje su pokrivale opseg od 700 nm do 10 040 nm.

U Tabeli 4.1. su dati osim filtera koji svaki sistem koristi, efektivne talasne dužine, tj. maksimumi osetljivosti u tim trakama, puna širina na polovini visine FWHM.

Tabela 4.1. Filteri različitih fotometrijskih sistema

System	Band	λ_{eff} nm	FWHM nm	$f_X(A0V)$ Jy	$\frac{L_\odot}{10^{25} \text{ W}}$	M_\odot
<i>UBVRI</i>	<i>U</i>	365	66	1780	1.86	5.61
	<i>B</i>	445	94	4000	4.67	5.48
	<i>V</i>	551	88	3600	4.64	4.83
	<i>R</i>	658	138	3060	6.94	4.42
	<i>I</i>	806	149	2420	4.71	4.08
	<i>J</i>	1220	213	1570	2.49	3.64
	<i>H</i>	1630	307	1020	1.81	3.32
	<i>K</i>	2190	390	636	0.82	3.28
	<i>L</i>	3450	472	281	0.17	3.25
	<i>M</i>	4750	460	154	–	–
Hipparcos	<i>Hp</i>	550	225	–	–	–
Tycho	<i>B_T</i>	420	75	–	–	–
	<i>V_T</i>	510	100	–	–	–
Thuan-Gunn	<i>g</i>	512	120	–	–	–
	<i>r</i>	668	100	–	–	–
	<i>i</i>	792	150	–	–	–
	<i>z</i>	912	140	–	–	–
SDSS	<i>u'</i>	352	63	–	–	–
	<i>g'</i>	480	141	–	–	–
	<i>r'</i>	625	139	–	–	–
	<i>i'</i>	769	154	–	–	–
	<i>z'</i>	911	141	–	–	–

(uzeto iz J.Binney and M. Merrifield, 1998.)

1.4.3. Indeks boje

Sa A i B obeležena u indeksu su dva filtera koja su na različitim talasnim dužinama u jednom fotometrijskom sistemu. Indeks boje predstavlja razliku magnituda koje su dobijene posmatranjem kroz ova dva različita filtera.

$$(C.I.)_{AB} = m_A - m_B = \text{const.} - 2.5 \log \frac{\int d\lambda S_\lambda(A) f_\lambda}{\int d\lambda S_\lambda(B) f_\lambda} \quad (4.3)$$


U ovoj jednačini S predstavlja combined telescope-reciever-filter sensitivity. Indeks boje meri odnos zvezdanih osvetljenosti u blizini maksimuma talasnih dužina za koje su obe trake najosetljivije. Ukupna energija koju zvezda emituje određena je sa nekoliko fizičkih parametara, kao što su površinska temperatura, gravitaciono ubrzanje na površini zvezde, hemijski sastav, itd. Površinska temperatura se može odrediti preko indeksa boje (U-B) i (B-V). Toplige zvezde su plave boje, što znači da se sa porastom temperature maksimum zračenja pomera ka višim frekvencijama odnosno ka kraćim talasnim dužinama, a to odgovara plavom

delu spektra gde je i najveći deo energije emitovan. Hladnije zvezde su crvene boje, a to prema Wienovom zakonu pomeranja znači da je maksimum zračenja pomeren ka većim talasnim dužinama, a to odgovara crvenom delu spektra. Indeks boje (B-V) koji meri odnos osvetljenosti između kraćih i dužih talasnih dužina je upravo taj koji nam omogućuje da izračunamo površinsku temperaturu zvezde.

Koja će se zvezda uzeti da ima magnitudu jednaku nuli je proizvoljno. U UVBVI sistemu zvezda Vega je definisana na taj način da joj je $m = 0$.

1.4.4. Apsolutna magnituda

Prividni sjaj zvezde zavisi od njenog stvarnog sjaja, od njene udaljenosti i od količine zračenja koje apsorbuje međuzvezdana materija na putu do nas. Činjenica da jedna zvezda izgleda sjajnija od druge, može poticati samo od toga da je ona zaista sjajnija od druge zvezde ili pak da je ona sjajnija jer je bliža nama nego druga zvezda. Isto tako možemo reći za drugu zvezdu da ona izgleda manje sjajna od prve, između ostalog što je razlog tome možda taj da je ona udaljenija od nas nego prva zvezda.

Fluks zvezde koji stiže do nas zavisi kako od prividnog sjaja zvezde tako i od njene udaljenosti do nas. Sa f je obeležen fluks koji potiče od zvezde koja se nalazi na stvarnom rastojanju d , a F je fluks koji bi primili kada bi se ona našla na fiksnom rastojanju D na kojem dovodimo obe zvezde. Fluks je obrnuto сразмерan kvadratu rastojanja pa imamo da je:

$$f = \left(\frac{D}{d}\right)^2 F \quad (4.4)$$

Osim udaljenosti moramo uzeti u obzir i prividan sjaj zvezde, pa uvodimo novu veličinu koja se zove **apsolutna magnituda** i obeležava se sa M . Definiše se kao prividna magnituda koju bi zvezda imala kada bi se našla na standardnom rastojanju D. Koristeći jednačine (4.1) i (4.4) sledi:

$$m - M = -2.5 \log\left(\frac{f}{F}\right) = 5 \log\left(\frac{d}{D}\right) \quad (4.5)$$

Uticaj apsorpcije je ovde isključen. Za standardno rastojanje D uzima se vrednost od 10 pc:

$$m - M = 5 \log d - 5 \quad (4.6)$$

$$m - M = -5 \log p - 5 \quad (4.7)$$

Jednačina (4.6) je pisana u parsecima, dok u (4.7) koristimo trigonometrijsku paralaksu izraženu u lučnim sekundama. Znajući pravo rastojanje ili paralaksu zvezde kao i prividnu magnitudu do bijamo a psolutnu m agnitudu zvezde. Treba istaći da je a psolutna m agnitude mera luminoznosti zvezde tj. ukupne energije koju je zvezda izračila u okolini prostora. Sa M_V je obelezena energija koju je zvezda izračila u vidljivom delu spektra. Da b ismo i zmerili ukupnu energiju koju zvezda izrači po celom spektru koristimo bolometrijsku magnitudu.

1.4.5. Bolometrijska magnituda

Bolometrijska magnituda predstavlja meru zvezdane luminoznosti i kao što je rečeno predstavlja celokupno zračenje zvezde po celom spektru. Bolometrijsku magnitudu je teško izmeriti zbog zemljine atmosfere. Definiše se sledećim izrazom:

$$m_{bol} = -2.5 \log \left(\int_0^{\infty} f_{\nu} d\nu \right) + C_{bol}$$

Gde integral u zagradi predstavlja fluks zvezde koju emituje po celom spektru.

Bolometrijska popravka BC_X je razlika između bolometrijske i vizuelne magnitude:

$$BC_X = m_{bol} - m_X$$

Glava II

Saznanja koja smo stekli o galaksijama su proistekla na osnovu našeg znanja o zvezdama. Starost zvezda, njihov nastanak, njihova evolucija, pa nakraju i smrt nam dosta mogu reći o samoj strukturi galaksije koju one i čine. Zvezde koje se nalaze u Sunčevoj okolini najbolje mogu ukazati na to jer su najviše posmatrane i o njima imamo najviše sakupljenih podataka. Sve je to sa razlogom jer su nam one jedino i dostupne da ih detaljno proučavamo, naravno onoliko koliko nam dosada nauka dopušta.

Više od 50% svih zvezda koje se nalaze u Sunčevoj okolini u krugu od 5 pc su dvojne, trojne pa i višestruke. Razlikujemo nekoliko tipova dvojnih zvezda a to su: **vizuelno dvojne** zvezde gde su komponente ovog dvojnog sistema na dovoljno velikoj udaljenosti i mogu se videti odvojeno, zatim **spektroskopski dvojne** gde se u spektrima ovih zvezda beleže pomeranja spektralnih linija usled orbitalnog kretanja komponenti ovog sistema, **eklipsno dvojne** zvezde čije orbitalno kretanje komponenti potvrđuje pravilna promena sjaja u vremenu koja nastaje prolaznjem jedne zvezde ispred druge.

Proučavanje ovakvih sistema nam pomaže u određivanju zvezdane mase, temperature, radijusa itd., i tako dobijene informacije korisne su za daljna istraživanja.

Još je u svoje vreme William Herschel pokušavao da izmeri paralaksu zvezda posmatrajući optički dvojne zvezde. Proizvoljno odabira dve zvezde koje su relativno bliske i meri paralaksu bliže zvezde u odnosu na drugu koja je malo udaljenija. Tokom svojih istraživanja je shvatio da su svi dvojni sistemi koje je posmatrao većinom fizički dvojni sistemi u kojem se obe zvezde pod uticajem uzajamnog gravitacionog privlačenja kreću oko zajedničkog centra mase, a ne optički dvojni kod kojih zvezde nemaju ništa zajedničko osim toga što se vide približno u istom pravcu.

2.1. Određivanje mase zvezda

U zajedničkom sistemu obe komponente se kreću po eliptičnim orbitama oko zajedničkog centra mase u skladu sa III Keplerovim zakonom po kojem odnos kuba velike poluose i kvadrata perioda konstantan. Na osnovu ovog zakona imamo da je:

$$G(M_1 + M_2)P^2 = 4\pi^2 a^3 \quad (2.1)$$

G - gravitaciona konstanta

M_1, M_2 - mase dveju komponenti

P - period

a - velika poluosa relativne orbite po kojoj se manje masivnija M_2 kreće oko masivnije komponente M_1

Sa visokim stepenom aproksimacije možemo reći da je zbir masa Sunca i Zemlje približno jednak masi samog Sunca. Sledi na osnovu III Keplerovog zakona koji se može primeniti i na sistem Zemlja Sunce:

$$GM_*P_{\oplus}^2 = 4\pi^2 a_{\oplus}^3 \quad (2.2)$$

gde je sa M_* označena masa Sunca, P_{\oplus} je period Zemljine revolucije oko Sunca, a a_{\oplus} je udaljenost Zemlje do Sunca i ima vrednost od 1 AU. Iz odnosa jednačina (2.1) i (2.2), i izražavajući mase u sunčevim masama, periode u godinama i rastojanja u astronomskim jedinicama sledi:

$$\frac{G(M_1 + M_2)P^2}{GM_*P_{\oplus}^2} = \frac{4\pi^2 a^3}{4\pi^2 a_{\oplus}^3}$$

$$(M_1 + M_2)P^2 = a^3 \quad (2.3)$$

Da bi se izrazila velika poluosa prave orbite u AU, poluosa prave orbite u lučnim sekundama moramo podeliti sa paralaksom koja je definisana (1.1) jednačinom i dobijamo sledeći iskaz:

$$\left(\frac{a''}{p} \right)^3 = (M_1 + M_2)P^2 \quad (2.4)$$

Mase svake komponente se mogu izračunati, ako znamo odnos velikih poluosa orbita zvezda oko centra mase, pomoću sledeće relacije $a_1/a_2 = M_2/M_1$.

Tačno i precizno određivanje zvezdanih masa u dvojnom sistemu je vrlo teško usled poteškoća u utvrđivanju preciznih rastojanja odnosno paralaksi zvezda. Gledajući u jednačini (2.4) paralaksa je na trećem stepenu i one najmanje greške u merenju daće pogrešnu vrednost ovog razlomka, što će se jako odraziti na dobijenu vrednost zbiru masa komponenti u sistemu kojem posmatramo. Međutim ovaj problem možemo posmatrati i iz drugog aspekta. Pokušaćemo da odredimo paralaksu ovog sistema umesto da odredimo njihove mase. Pretpostavićemo da u zavisnosti o d toga ko jem s pektralnom tipu zvezda pripada o na im a masu karakterističnu za taj spektralni tip. Grubom pretpostavkom smo na neki način odredili

mase zvezda, ugao θ zaklapaju velika poluosa dvojnog sistema i rastojanje do Sunca $\theta = a/d$. Pozivajući se na jednačinu (2.3) imamo da je:

$$(M_1 + M_2)P^2 = \theta^3 d^3$$

$$d^3 = \frac{(M_1 + M_2)P^2}{\theta^3} [pc]$$

$$d = \frac{\sqrt[3]{M_1 + M_2} P^{2/3}}{\theta [\text{''}]} [pc] \quad (2.5)$$

Iako je ova procena masa veoma grubo postavljena, rastojanje d možemo dobiti sa tačnošću jer u jednačini gore zbir masa je pod trećim korenom, pa i greške koje smo napravili u tom grubom ocenjivanju masa nisu toliko vidljive, odnosno ne dolaze do izražaja. Znajući dosta preciznu paralaksu ovih zvezda ili ti njihove udaljenosti, možemo odrediti absolutne magnitude ovih komponenti, a preko relacije mase – sjaj dobiti tačniju procenu mase komponenti od one koja je napravljena grubom procenom.

2.1.1. Relacija masa – sjaj

Relaciju masa – sjaj je otkrio i postavio Sir Arthur Eddington 1924. godine. To je jedno od najznačajnijih otkrića jer nam omogućuje da dođemo do mase zvezda čak i tada kada nam to nije dostupno posmatračkim metodama.

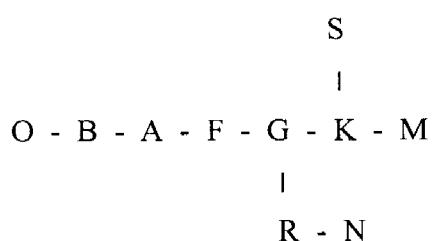
2.2. Klasifikacija zvezda

Podaci koje dobijamo o zvezdama su nam dostupni preko merenja i analize njihovog kretanja kao i zračenja koje emituju u toku vremena. Spektri posmatranih zvezda su od izuzetnog značaja jer nam pružaju informacije vezane za osnovne fizičke parametre koji karakterišu samu zvezdu. Kao na primer: efektivna temperatura, emisivnost, radijus zvezda itd. Naime kada govorimo o zračenju okolnih zvezda, možemo direktno meriti osvetljenost u datom spektralnom intervalu. Znajući udaljenost do zvezde i njenu zvezdanu veličinu možemo izračunati luminoznost zvezde L što predstavlja ukupnu energiju koju zvezda izrači sa njene površine u svim pravcima u jedinici vremena u određenom spektralnom intervalu. $L = 4\pi\sigma T^4 R^2$, Štefan-Bolcmanov zakon.

Klasifikacija spektara zasnovana je na grupisanju onih spektara koji imaju sličnu ili istu strukturu tj. morfologiju, kao i na dobro definisanom kriterijumu. Zvezde su podeljene na

spektralne klase ili tipove na osnovu karakteristika i tipova spektara, a kriterijum za to je bio intenzitet i vrsta spektralnih linija koje mogu biti emisione i apsorpcione. Grupa zvezda koje su istog tipa imaće slične fizičke karakteristike, dok će se grupe različitih tipova vidno razlikovati u tim fizičkim karakteristikama jedne od drugih. Zvezdana temperatura, luminoznost, hemijski sastav itd. su definisani za svaki spektralni tip. Pažljivo su analizirani spektri grupa zvezda koje pripadaju jednom tipu, znači analizirani su svi fizički parametri za svaki spektralni tip posebno. Temperatura je ta koja određuje stepen ionizacije atoma i molekula. Zato za temperaturu zvezde uzimamo njenu boju. Znači spektralni tip nam daje tačan opis spektra zvezde kao i vrednosti fizičkih parametara koji opisuju zvezdu.

Dakle zvezde su podeljene na sedam spektralnih klasa i tri bočne (slika 2.1):



Slika 2.1
Harvardska spektralna klasifikacija

Tipovi R, N, S su dodati da bi opisali zvezde koje se nalaze između temperaturnog intervala G i M zbog različitog sastava. Gore napisana klasifikacija se zove Harvardska spektralna klasifikacija.

Spektralni tipovi su još podeljeni na podtipove i ima ih deset počev od 0 do 9. Sa nulom se obeležavaju najtoplji u toj klasi a sa 9 su obeležene najhladije zvezde u svojoj klasi.

Današnji sistem koji je u upotrebi jeste **MK sistem** koji je osmišljen od strane Morgan, Keenan i Kellerman godine 1943. On je dvodimenzion, zvezdama se osim spektralne klase pripisuju jedna od pet I-V klase luminoznosti. Među zvezdama iste spektralne klase mogu postojati razlike u luminoznosti. MK sistem je današnji standardni klasifikacioni sistem zvezda koji je u upotrebi.

Spektralni tipovi u MK sistemu su isti oni koji su navedeni u Harvardskoj klasifikaciji, s tim što treba napomenuti da tip C u tabeli zamenjuje tipove R i N, i mogu se videti u Tabeli 2.1 ispod, dok se u narednoj Tabeli 2.2 mogu videti klase luminoznosti.

Tabela 2.1. Osnovne karakteristike spektralnih tipova

Spektralni tip	Karakteristike spektralnih tipova
O	He II linije vidljive; linije visoko jonizovanih vrsta kao na primer C III, N III, O III, Si IV; slabe linije H, jak UV kontinuum
B	Jake su linije H I i prisutne sve do B2; Linije He II nisu prisutne; jače linije H; prisutni C II, O II, Si III
A	Linije H su maksimalne jačine u A0, a krećući se ka kasnijim tipovima opadaju; jake linije Mg II i Si II; slabe linije Ca
F	Slabije prisutne linije H, Ca II jače prisutne; istaknute su linije neutralnih atoma i prva stanja jonizacije metala
G	Ovom spektralnom tipu pripada Sunce; izuzetno jake linije Ca II; uočljivi nezadržani metali, jonizovana stanja slabija; linije H opadaju
K	Dominantne neutralne linije metala; linije H izuzetno slabe; molekulske trake CH i CN prisutne; u plavom delu spektra kontinuum je slab
M	Jake molekulske trake, naročito TiO; neke neutralne linije CA I poprilično jake; crveni kontinuum
C	Spadaju ugljenične zvezde; Jake trake koje se sastoje od ugljeničnika C ₂ , CN, CO; TiO odsutan; temperature su u intervalu tipova K i M
S	Spadaju zvezde koje sadrže teške elemente; prisutne trake ZrO, YO, LaO; jaka prisutnost neutralnih atoma kao u K i M
Sp	

(J.Binney and M. Merrifield, 1998.)

Tabela 2.2. Klase luminoznosti u MK sistemu

Ia-0	Najekstremniji superdžinovi
Ia	Sjajni superdžinovi
Iab	Umereni superdžinovi
Ib	Manje sjajni superdžinovi
II	Sjajni džinovi
III	Džinovi
IV	Subdžinovi
V	Patuljci

(J.Binney and M. Merrifield, 1998.)

Neke zvezde naprosto ne mogu naći svoje mesto u MK sistemu. Neke od njih su cefeide, miride, OH/IR zvezde, RR Lire, T-Tauri zvezde, Wolf-Rayetove zvezde itd.

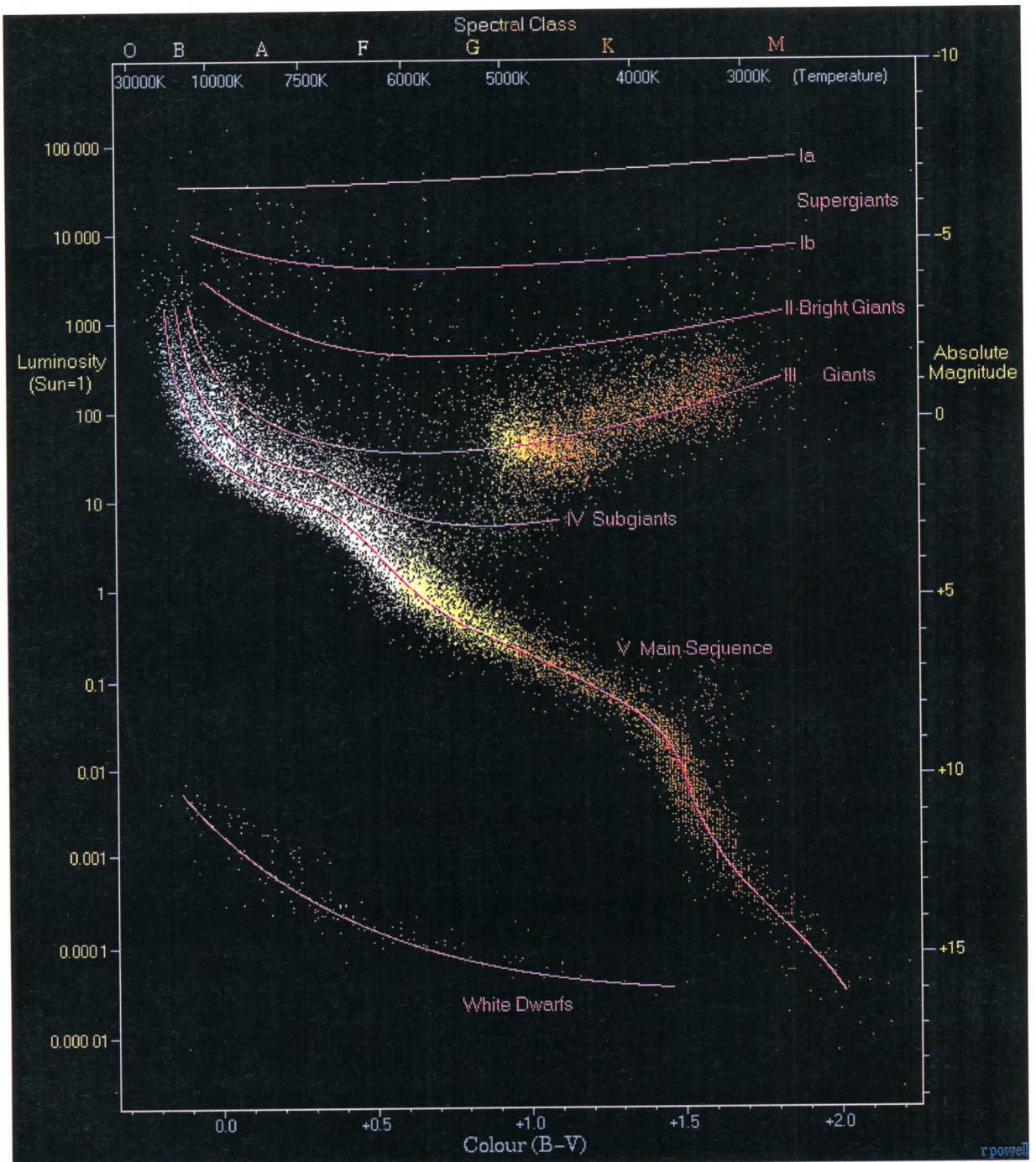
2.3. HR dijagram

Jedan od najpoznatijih i najvažnijih diagrama u astronomiji je zapravo Hertzsprung-Russellov dijagram, takođe poznato pod skraćenicom HR-dijagram. Razvijen je od strane dva naučnika: E. Hertzsprunga 1911. godine i H. N. Russella godine 1913.

Dijagram (Sl. 2.2.) je u svojoj originalnoj formi osmišljen tako da predstavlja zavisnost apsolutne zvezdane veličine M odspektralne klase Sp . Na zivu se još i color-magnitude (CM) diagram. Kvantitativne vrednosti ovih dveju veličina se mogu dobiti posmatranjem.

Sa teorijske tačke gledišta forma istog dijagrama bi mogla da bude drugačija, da predstavlja zavisnost efektivne temperature T_{eff} od luminoznosti L . Zato je i nazvan teorijski CM-diagram. Dijagram sa Sl. 2.2. obuhvata 22 000 zvezda iz kataloga Hipparcos zajedno sa 1000 zvezda koje čine beli i crveni patuljci uzetih iz Glieseovog kataloga. Kao što se može videti sa dijagraama, najveći broj zvezda je raspodeljen u nizu koji se prostire od gornjeg levog ugla u kojem su zvezde najsjajnije, najtoplje i po boji plave, pa sve do donjeg desnog gde su zvezde slabijeg sjaja, hladnije i po boji crvenije. Te zvezde čine **glavni niz** HR-dijagrama. **Grana poddžinova** se proteže od $(B-V) \approx 0.7$ i $M = 0.4$ do $(B-V) \approx 1$, da bi se naglo izdigla ka gore i prešla u granu koju naseljavaju crveni džinovi. **Crveni džinovi** naseljavaju oblast od $(B-V) \approx 1$ pa sve do oblasti koje naseljavaju hladnije zvezde. U Tabeli 2.2. pripadaju III klasi luminoznosti. Oblast iznad grane crvenih džinova naseljavaju **sjajni džinovi i superdžinovi**. Mogu se napomenuti još dve stvari koje su karakteristika ove oblasti koju naseljavaju džinovi uopšte. Uočava se velika gustina naseljenosti crvenih džinova na mestu $(B-V) = 1.1$, $M = 1$ koja je poznata pod nazivom **red clump**. Primetno je i to da u regionu između glavne grane i grane crvenih džinova na $M \approx 1$ može se uočiti odsustvo zvezda i naziva se **Hertzsprung gap (praznina)**. Kada zvezda u toku svoje evolucije pređe ovaj gap znači da je sagorevanje vodonika u jezgru završeno, ali još nije započelo gorenje helijuma. Izuzetno tople zvezde ali manje sjajne svoje mesto na HR-dijagramu nalaze u donjem levom uglu i zovi se **beli patuljci**.

Snimajući spekture okolnih zvezda, koje se nalaze u relativnoj blizini Sunca, i njihovom analizom možemo dobiti vrednosti efektivnih temperatura T_{eff} . Samim tim što su nam zvezde bliže pruža nam se mogućnost da što preciznije izmerimo njihove paralkse odnosno dođemo do vrednosti apsolutnih magnituda zvezda. Znajući im magnitude na HR dijagramu saznajemo kakve su to zvezde koje naseljavaju Sunčevu okolinu.



Slika 2.2.
Hertzsprung-Russell diagram

U Sunčevom susedstvu nije jednaka zastupljenost zvezda malih i velikih masa. Sunčevu okolinu naseljavaju većinom beli i crveni patuljci. Zvezde velikih masa se retko javljaju u našem susedstvu, osim toga životni vek im je kratak upravo zbog svoje mase. Samim tim isključujemo prisutnost i crnih rupa. Osim belih patuljaka iz našeg susedstva, postoje zvezde koje su takođe iz Sunčeve okoline i koje naseljavaju glavnu niz HR-dijagrama.

Glava III

3.1. Kinematika Sunčevog susedstva

Kretanje zvezda u našoj Galaksiji se određuju u odnosu na LSM (lokalni standard mirovanja). LSM je zamišljena tačka u ravni MP koja se kreće, gledano sa severnog galaktičkog pola, retrogradno po kružnoj orbiti. Poluprečnik te orbite jednak je rastojanju Sunca do središta MP (bolje reći njegove projekcije na ravan MP jer se Sunce ne nalazi u ovoj ravni). LSM se može definisati na dva načina: kinematički i dinamički. U prvom slučaju brzina njegovog kretanja jednaka je srednjoj brzini svih zvezda iz Sunčeve okoline zajedno sa Suncem, dok se u drugom ona izjednačava sa kružnom brzinom za dato rastojanje. Kružna brzina je brzina kretanja po kružnici u ravni MP; njen iznos se dobija iz formule za centripetalno ubrzanje. Centripetalno ubrzanje je jednak jačini polja gravitacije po jednačini (3.1):

$$-\frac{\partial \Pi}{\partial R(R_0)} = \frac{v_c^2}{R(R_0)} \quad (3.1)$$

U ovoj jednačini Π je potencijal polja gravitacije u MP. Međunarodna astronomска unija (MAU) za kružnu brzinu u Sunčevoj okolini preporučuje vrednost od 220 km/s.

Postavićemo cilindrični koordinatni sistem sa x, y, z koordinatama čiji koordinatni početak leži u ravni MP na rastojanju jednakom Sunčevom. U tom sistemu merimo tri brzine u tri različita pravca; x -osa je usmerena ka galaktičkom centru, y -osa je usmerena u pravcu rotacije MP, a z -osa pokazuje pravac ka severnom galaktičkom polu. Brzine koje merimo u pravcu tih osa v_x, v_y, v_z su obeležene respektivno sa U, V, W .

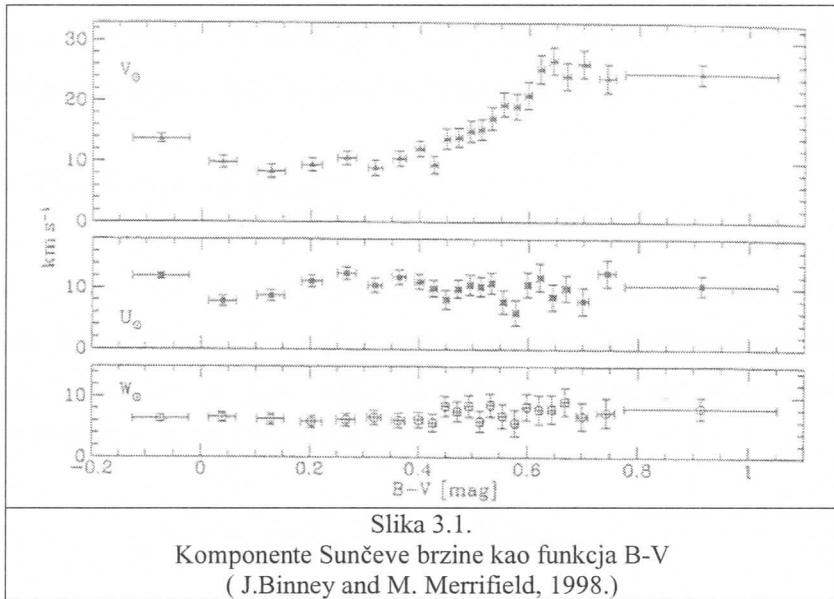
$$v_x = U = \frac{dR}{dt} \quad (3.2a)$$

$$v_y = V(R) = \frac{d\phi}{dt} - v(R_0) \quad (3.2b)$$

$$v_z = W = \frac{dz}{dt} \quad (3.2c)$$

Sa R smo obeležili rastojanje do centra galaksije u ravni Mlečnog puta, ϕ je azimutalna komponenta koja prati pravac rotacije galaksije, a z predstavlja treću koordinatu koja pokazuje na kojoj visini iznad ravni Mlečnog puta se nalazi zvezda. Sa $V(R)$ je određena

brzina kretanja po krugu radijusa R , a R_0 jeste Sunčevu rastojanje do centra galaksije. Razmatrajući gore navedene jednačine (3.2 a,b,c) zaključujemo da ako je $U > 0$ zvezda se kreće ka unutrašnjosti, ka galaktičkom centru; $V > 0$ kretaće se u pravcu rotacije galaksije; $W > 0$ zvezda je onda iznad galaktičke ravni.



Na slici 3.1. su data tri dijagrama koja predstavljaju tri komponente brzine u funkciji $B-V$, indeksa boje. To su komponente brzine prosečnog kretanja (Sunčev kretanje sa obrnutim znakom). Korišćeni su podaci za zvezde glavnog niza HR – dijagonala. Može se uočiti da se komponenta brzine V pri vrednostima indeksa boje, $B-V < 0.61$, postepeno povećava. Vrednosti komponenti brzine Sunčevog kretanja u odnosu na LSM (definisan dinamički) iznose:

$$\begin{aligned} U_* &= 10 \text{ km/s} \\ V_* &= 5.2 \text{ km/s} \\ W_* &= 7.2 \text{ km/s} \end{aligned} \tag{3.3}$$

Sunce se kreće ka centru galaksije udaljavajući se od njene ravni, približavajući se pericentru svoje putanje. Brzina Sunca u odnosu na LSM iznosi 13.4 km/s . Takođe se kreće brže oko centra galaksije nego što iznosi odgovarajuća kružna brzina. Upravo z bog o vog brzine okolnih zvezda se mere u odnosu na LSM pre nego u odnosu na Sunce. Kinematicka razlika (engl. asymmetric drift) se definiše kao razlika rotacione i kružne brzine, kada je brzina rotacije manja od kružne brzine zvezda na istom odstojanju.

Odstupanje brzine neke zvezde od proseka za uzorak kome ona pripada se naziva svojstvena brzina (engl. peculiar or residual or random velocity). Kada se izračunaju srednji kvadrati ove brzine po sve tri komponente, zapaža se da se njihovi odnosi slabo menjaju, ali

zato sami iznosi kvadrata zavise od indeksa boje B - V, baš kao i srednja brzina. Njihovo poređenje pokazuje da što je srednja brzina (ili brzina rotacije) bliža kružnoj brzini (manja kinematička razlika), to je veći srednji kvadrat svojstvene brzine. On je najveći za U-komponentu. Zbog toga se ispituje veza između srednjeg kvadrata svojstvene brzine za U-komponentu i kinematičke razlike. Dobija se da je ona linearna tako da kinematičku razliku za zvezde određenog raspona B - V treba pomnožiti sa približno 80 km/s da se dobije srednji kvadrat svojstvene brzine po U-komponenti za iste te zvezde.

3.1.1. Devijacija verteksa

Devijacija verteksa nije sasvim objašnjena. Radi se o tome da srednji kvadrat proizvoda UV (komponente brzine) često nije jednak nuli. Rotacijom koordinatnog sistema xyz oko z-ose za određeni ugao ovo se ipak može postići. Taj ugao se zove devijacija verteksa. Definisaćemo brzine v_1 i v_2 na sledeći način:

$$\begin{aligned} v_1 &\equiv v_x \cos l_V - (v_y - \langle v_y \rangle) \sin l_V \\ v_2 &\equiv v_x \sin l_V + (v_y - \langle v_y \rangle) \cos l_V \end{aligned} \quad (3.4)$$

Gde se ugao l_V zove devijacija verteksa, a brzine v_x, v_y se odnose na LSM. Proizvod brzina v_1 i v_2 daće sledeći izraz:

$$\langle v_1 v_2 \rangle = \frac{1}{2} (\sigma_x^2 - \sigma_y^2) \sin 2l_V + \langle v_x (v_y - \langle v_y \rangle) \rangle \cos 2l_V \quad (3.5)$$

U jednačini (3.5) sa σ_x, σ_y su obeležene disperzije brzina i definišu se kao:

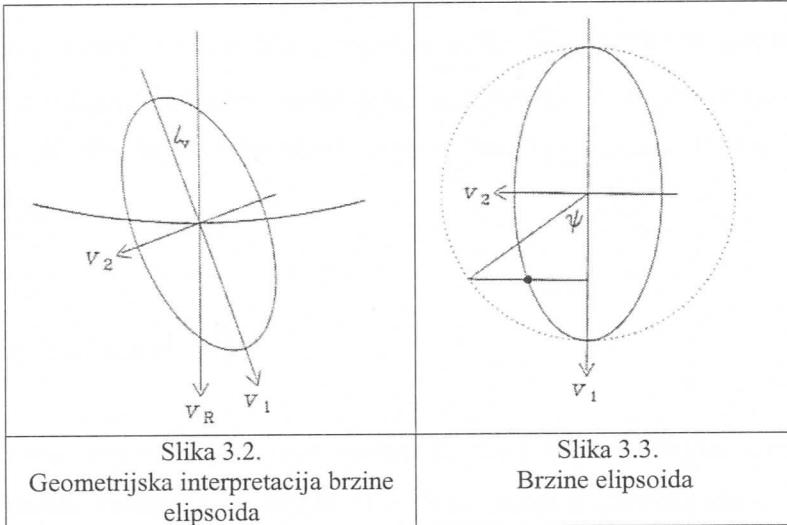
$$\sigma_i \equiv \left\langle (v_i - \langle v_i \rangle)^2 \right\rangle^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Brzine će biti statistički nezavisne ako je njihov proizvod jednak nuli tj. ako je $\langle v_1 v_2 \rangle = 0$.

Tada imamo:

$$l_V = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \langle v_x (v_y - \langle v_y \rangle) \rangle}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \right) \quad (3.7)$$

Jednačina (3.7) predstavlja ugaono odstupanje verteksa. Treba definisati gore pomenute brzine v_1 i v_2 . One su komponente svojstvene brzine.



Sl. 3.2. prikazuje međusobni položaj ovih dvaju brzina i verteksa, pri čemu je pravac ka galaktičkom centru na gore, a sa σ_1, σ_2 su obeležene poluose ove elipse. Na ovoj Sl. Sunce leži u centru elipse i kreće se ulevo. Ukoliko na Sl. 3.3. zamenimo elipsu elipsoidom koji ima poluose označene sa $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_z$ dobijamo elipsoid brzine u kojem možemo izračunati srednji kvadrat brzine u bilo kojem pravcu. Kao primer poslužićemo se sledećom slikom (Sl. 3.3). Pravac ka centru Galaksije je ovde takođe usmeren ka gore i sada želimo da odredimo srednji kvadrat brzine u pravcu \vec{n} koji leži u ravni, ali zaklapa ugao ψ sa pravcem u kojem leži komponenta brzine v_1 . Sa v_n je označena brzina u pravcu \vec{n} i iznosi $v_n = v_1 \cos \psi + v_2 \sin \psi$, takođe imamo da je $\langle v_1 v_2 \rangle = 0$, tada sledi:

$$\begin{aligned} \langle v_n^2 \rangle &= \langle v_1^2 \rangle \cos^2 \psi + \langle v_2^2 \rangle \sin^2 \psi \\ \langle v_n^2 \rangle &= \langle v_1^2 \rangle (\cos^2 \psi + q^2 \sin^2 \psi) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Sa q je označen odnos poluosa. Pravac verteksa je onaj duž kojeg je disperzija brzine najveća.

3.1.2. Schwarzschild – ova raspodela

Schwarzschild je izneo predpostavku da je raspodela komponenata brzine zvezda slična Gausovoj raspodeli za molekule idealnog gasa. Kod molekula gasa raspodela komponenata brzine ne zavisi od pravca, tj. ona je izotropna. Kod zvezda iz Sunčeve okoline, vrednosti disperzije komponenti brzina se razlikuju. Stoga Schwarzschild postulira da je verovatnoća raspodele komponenti brzina zvezda u elementu zapremine $d^3v = dv_1 dv_2 dv_z$ ovakvog oblika:

$$P(\mathbf{v})d^3\mathbf{v} = \frac{d^3\mathbf{v}}{(2\pi)^{3/2}\sigma_1\sigma_2\sigma_z} \exp\left[-\left(\frac{v_1^2}{2\sigma_1^2} + \frac{v_2^2}{2\sigma_2^2} + \frac{v_z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] , \quad (3.9)$$

gde su $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_z$ disperzije po komponentama. Relacija (3.9) je poznata pod nazivom Schwarzschild-ova raspodela. Ova raspodela predstavlja i uopštavanje Maxwell – ove distribucije koja je sferna. Komponente brzine kretanja zvezda imaju svaka, ponaosob, Gausovu raspodelu.

3.2. Položaj Sunca u MP

Sunce trenutno leži u Orionovom spiralnoj grani koji se nalazi između Persejevog i Sagitariusovog kraka. Trenutno se nalazi 10 – 20 pc iznad galaktičke ravni i ovo rastojanje se povećava u toku Sunčevog kretanja po njegovoj putanji. Očekivana maksimalna visina koju bi Sunce trebalo da dostigne iznad ravni galaksije iznosi oko 90 pc, što znači da inklinacija Sunčeve orbite u odnosu na ravan MP (kada bi se Sunce kretalo samo u jednoj ravni) iznosi oko 40° . Analize kretanja neutralnog i jonizovanog vodonika u molekulskim oblacima dovode do procene da je galaktocentričko rastojanje Sunca $R_0 = 8,2 \pm 0,7$ kpc, premda MAU još uvek preporučuje vrednost od $8,5 \pm 1$ kpc. Galaktička godina, vremenski interval za koji Sunce obide oko centra MP, iznosi oko 225×10^6 godina. Sunce je zvezda klase spektra G (tačnije G2) i pipada glavnom nizu HR-dijagrama, dakle po luminoznosti je patuljak. Za takve zvezde prema relacijama iz prethodnog odeljka se očekuje kinematička razlika od 14 km /s i, ako se usvoji po MAU za kružnu brzinu 220 km /s, sledi da je brzina rotacije 206 km/s. Ovo je samo očekivana vrednost galaktocentrične brzine normalno na galaktocentrični radijus za patuljke klase spektra G i, kao takva, se ne može primenjivati na pojedinačne zvezde, pa ni za Sunce. Iznosi komponenata brzine Sunca u odnosu na LSM dati su gore zajedno sa vrednošću kružne brzine. Ovo dozvoljava da se vrlo jednostavno izračuna trenutna vrednost brzine Sunca u odnosu na centar MP.

Sa većom preciznošću su određeni statistički parametri zvezda iz Sunčeve okoline u regionu od 10 pc oko Sunca. Do ovih podataka se pre stiže jer znamo trigonometrijske paralakse za veliki broj zvezda iz ovog regiona. Analizirano je oko 500 zvezda u sferi prečnika 10 pc oko Sunca, gde je gustina zvezda $0,125 \pm 0,002$ zvezde/pc³. Zvezde su ravnomerno raspodeljene po sferi sa prosečnom površinskom gustinom od $0,0127 \pm 0,0002$ zvezde/stepenu². Beli patuljci značajno doprinose ukupnoj zvezdanoj masi i čine 10 % ukupne mase u Sunčevoj okolini. Velika većina zvezda tačnije 87 % koja se nalazi u regionu od 10 pc su zvezde sa glavnog niza, 2,5 % čine podžinovi, 7,5 % beli patuljci. M zvezde imaju udeo od 62 %, a prosečna masa iznosi $0,43 \pm 0,07 m_*$. Džinovi, zvezdana jata i veći oblaci gasa i prašine nisu detektovani u ovom regionu.

Položaj svakog nebeskog tela u MP je određen galaktocentričnim koordinatama S, l, b . Pravac ka centru MP se vezuje za snažan radio izvor u sazvežđu Strelca. S je heliocentrično rastojanje, l je galaktička longituda, ugao koji projekcija heliocentričnog pravca na ravan galaktičkog ekvatora zaklapa sa pravcem ka središtu MP. Galaktička latituda se obeležava sa b i predstavlja ugao koji heliocentrični pravac ka nekom objektu zaklapa sa ravni galaktičkog ekvatora. Ravan galaktičkog ekvatora nije isto što i ravan MP jer se Sunce ne nalazi u ovoj drugoj ravni, kao što je napred rečeno. Ravan MP sadrži središte MP. Rastojanje Sunca od centra MP se označava sa \mathfrak{R}_0 (3.11), a sa R_0 rastojanje Sunca do ose rotacije MP koja prolazi kroz središte MP. Koordinate Sunca u odnosu na centar MP su date sledećim izrazima u (3.10):

$$X = -R_0 \quad Y = 0 \quad Z = z_0 \quad (3.10)$$

$$\mathfrak{R}_0 = \sqrt{R_0^2 + z_0^2} \quad (3.11)$$

3.3. Kinematika Sunca i zvezda u MP

Zvezde u MP, u zavisnosti od toga gde se nalaze, se različito kreću. Kinematika koja opisuje njihova kretanja je različita.

Brzina posmatranog objekta u odnosu na centar MP se računa po sledećoj formuli:

$$\vec{V} = \vec{u} + \vec{v} \quad (3.12)$$

sa \vec{u} je označena brzina srednjeg kretanja ili brzina centroida za njegov položaj. Centroid je fiktivan objekat čija je brzina u svakom trenutku jednaka srednjoj brzini za dati položaj. Odstupanje brzine posmatranog objekta od srednje brzine u formuli (3.12) je označeno sa \vec{v} , a to je njegova svojstvena brzina. Da bismo odredili smer kretanje Sunca u MP ispitujemo zvezde iz Sunčeve okoline. Uzimamo u obzir zvezde koje se nalaze na relativno istom odstojanju od centra MP kao i Sunce. Srednja brzina je pritom ista za sve posmatrane zvezde. Sa \vec{v}_0 je označen prosek brzina u odnosu na Sunce, koristeći formulu $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_0$ i primenjujući da je srednje odstupanje od srednje vrednosti jednak nuli imamo:

$$\vec{v}' = -\vec{v}_0 \quad (3.13)$$

Jednačinom (3.13) smo odredili brzinu kretanja Sunca u odnosu na dati uzorak. Tačka ka kojoj je ovo kretanje usmereno se zove apeks. Brzina kretanja ka apeksu zavisi od uzorka. Tako brzina kretanja Sunca ka tzv. standardnom apeksu iznosi 19,5 km/s. Ovo je apeks definisan u odnosu na uzorak koji obrazuju Suncu veoma bliske zvezde.

Kao što je gore navedeno, brzina rotacije za zvezde srođne Suncu, prema položaju na HR-dijagramu najverovatnije iznosi oko 206 km/s. Način na koji može da se odredi rotaciona brzina je zasnovan na Oortovoј analizi. Iz heliocentričnih brzina izračunavaju se dve konstante, konstanta A i konstanta B. Definisane su na sledeći način:

$$A \equiv -\frac{1}{2} \left(R \frac{d\Omega}{dR} \right)_{R_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_c}{R} - \frac{dv_c}{dR} \right)_{R_0} \quad (3.14 \text{ a})$$

$$B = A - \Omega(R_0) = -\frac{1}{2} \left(\frac{v_c}{R} - \frac{dv_c}{dR} \right)_{R_0} \quad (3.14 \text{ b})$$

gde je Ω ugaona brzina koja odgovara kružnoj brzini, tj. data je za kružno kretanje preko centripetalnog ubrzanja. Iz jednačina (3.14 a i b) se može izračunati kružna brzina v_c :

$$\begin{aligned} v_c &= R_0(A - B) \\ \frac{dv_c}{dR_0} &= -(A + B) \end{aligned}$$

Obe konstante se uzimaju za položaj kada je $R = R_0$. Ugaona brzina rotacije zavisi od R i Z. Za zvezde slične Suncu ona je bliska ugaonoj brzini iz centripetalnog ubrzanja jer je odgovarajuća kinematička razlika mala. Disk MP je spljošten a to je zbog toga što je u disku dominantna rotacija odnosno preovlađuje $\langle u^2 \rangle$, a član haotičnog kretanja $\langle \bar{v}^2 \rangle$ se zanemaruje, dok kod haloa je situacija sasvim obrnuta. U halou zvezde se kreću haotično pa tu dominantnu ulogu uzima upravo čalan haotičnog kretanja koji je u disku bio zanemarljiv.

Srednji kvadrat galaktocentrične brzine za određen položaj dat je izrazom $\bar{V}^2 = u^2 + \bar{v}^2$. Prvi član predstavlja srednju brzinu ili brzinu rotacije, a drugi haotično kretanje dato svojstvenim brzinama.

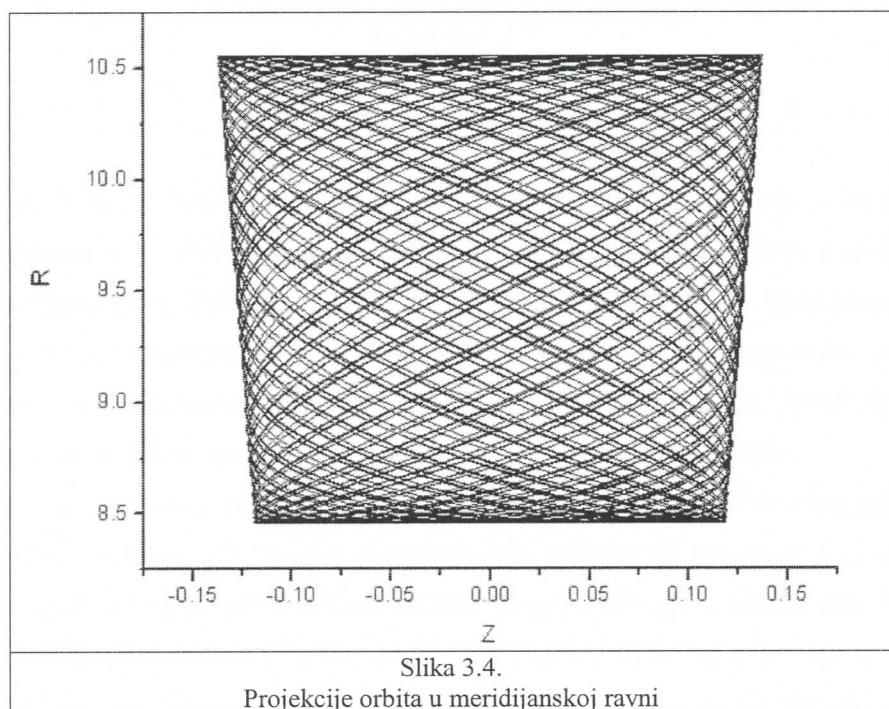
Kružna brzina v_c zavisi od rastojanja R, dakle $v_c(R)$. Grafik koji pokazuje ovu zavisnost naziva se kriva rotacije (zbog male kinematičke razlike) koja nije ni Keplerovska kriva $v_c \propto R^{-1/2}$ niti se kreće po zakonu krutog tela $v_c \propto R$, $\Omega = \text{const}$. Srednji kvadrat brzine ili član haotičnog kretanja predstavlja zbir $\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$. Kao što je gore rečeno, raspodela svojstvene brzine zvezda nije izotropna, ni za disk, a ni za halo što znači da, u proseku, komponente brzine haotičnog kretanja nisu međusobno jednake, nego se razlikuju.

3.4. Dinamika u MP

Putanje zvezda su krive linije koje prolaze kroz ravan MP. Takve putanje se prikazuju u meridijanskoj ravni. Zvezde diska se kreću po skoro kružnim putanjama u istom smeru, $R \approx \text{const}$. Prosečna brzina tada ima pravac tangente na kružnicu u ravni MP. Brzina kretanja zvezde po kružnici iznosi $v_c = \sqrt{-R \frac{\partial \Pi}{\partial R}}$. Ovo je ista formula kao ona data ranije, samo što je sada napisan potencijal (Π), a njegov izvod je jačina polja gravitacije.

Pomoću ove formule se može odrediti zavisnost $v_c(R)$. Na Sl. 3.4. je prikazana jedna takva putanja predstavljena u meridijanskoj ravni RZ. Početni uslovi su slični kao za Sunce: $R = 8,5 \text{ kpc}$, $Z = 0,015 \text{ kpc}$, $u_1 = 10 \text{ km/s}$, $u_2 = 5,2 \text{ km/s}$, $u_3 = 7,2 \text{ km/s}$.

Zvezde u halou se kreću haotično kao čestice u idealnom gasu, gde je kvadrat brzine srazmeran temperaturi, a njihova srednja brzina jednaka je nuli. Pomoću Poisson-ove jednačine $\Delta \Pi = -4\pi G \rho$ se može dobiti potencijal Π . Glavni doprinos potencijalu treba da daju disk i centralni oval, dok je doprinos haloa, zbog njegove male ukupne mase zanemarljiv. Međutim na većim rastojanjima (počev od $1,5R_0$) kriva poprima drugačiji oblik, da bi na $2R_0$ opet pokazala odstupanja. Promena izgleda $u_c(R)$ krive dovodi do postavljanja hipoteze o tamnoj materiji koja je skrivena u koroni. Kritična brzina $u_c = \sqrt{2\Pi}$ je mnogo veća od kružne na Sunčevom rastojanju R_0 . Kritična brzina za ovo rastojanje iznosi 500-600 km/s, a kružna 220 km/s, dakle prva je oko 2,5 puta veća od druge.



Glava IV

Galaksija, Mlečni Put, se sastoji iz više komponenti. Razlikujemo sfernu, spljoštenu i srednju komponentu. U **sfernu komponentu** spadaju korona, unutrašnji i spoljašnji halo; u **spljoštenu komponentu** ubrajamo tanak i debeo disk; dok se **srednja komponenta** odnosi na centralni oval. Ove komponente se nazivaju podsistemi i njihove se zapremine prepliću. Stoga u Sunčevoj okolini nailazimo i na zvezde oba diska, ali i haloa. Najviše, međutim, ima zvezda tankog diska. Centar galaksije nalazi se u samom centru centralnog ovala.

Ravan MP je posledica postojanja diska koji je spljošten i skoro dvodimenzionalan. Čine ga međuzvezdana materija, razvejana zvezdana jata, promenljive zvezde tipa cefeide, Sunce itd. Centralni oval je manje spljošteniji u odnosu na disk, sličniji je halou, dok zvezde koje ga naseljavaju su slične zvezdama diska. Naziv centralni potiče od toga što je rastezanje po koordinati R mnogo manje nego što je to kod diska i haloa. Halo je sledeći podistem u našoj galaksiji. Halo je skoro sferičan, objekti koji ga naseljavaju su zbijena zvezdana jata, promenljive zvezde tipa RR Lyrae, itd.

MP pripada Lokalnoj grupi galaksija; unutar te grupe se izdvajaju dve podgrupe grupisane oko dve najveće galaksije, a to su MP i Andromedina maglina. Ostale galaksije iz podgrupe MP su sateliti naše Galaksije. Najpoznatiji među njima su Magelanovi oblaci, najsjajniji sateliti MP.

Metaličnost nebeskog tela je bitna karakteristika posmatranog objekta. Ona se može dovesti u vezu sa njegovom starošću. Određuje se iz spektroskopskih podataka.

4.1. Metaličnost u Mlečnom putu

Metaličnost predstavlja obilje hemijskih elemenata od kojih se neko nebesko telo sastoji. Treba reći da spektroskopija može da dosegne samo u gornje slojeve zvezde - fotosferu i atmosferu. Prema tome, metaličnost neke zvezde opisuje obilje hemijskih elemenata u fotosferi. Usled evolucije hemijski sastav jedne zvezde se menja i ova promena se događa u smeru od središta, gde se nalaze izvori zvezdane energije, ka periferiji. Međutim, pošto je ona relativno spora, hemijski sastav u fotosferi ostaje praktično netaknut. To je, drugim rečima, početni hemijski sastav. Ako je poznata i starost zvezde, onda se mogu povezati fotosferski ili početni hemijski sastav i starost. Ova veza je poznata pod imenom relacija između starosti i metaličnosti (engl. age-metallicity relation).

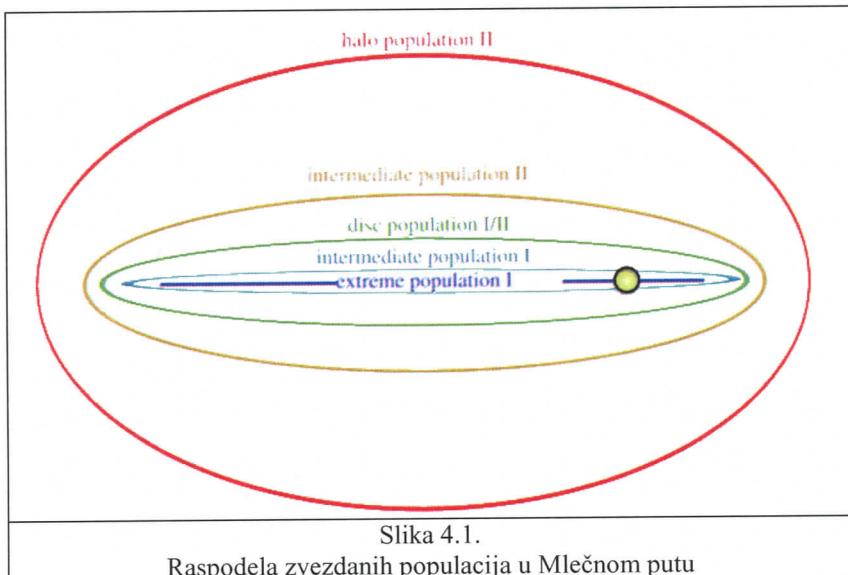
Definicija metaličnosti je data poređenjem udela metala prema udelu vodonika u zvezdi, pa se isto to uradi i za Sunce i uzme relativno prema njemu i dobijena vrednost, tj. njen Briggs-ov logaritam, se zove metaličnost. Obeležava se sa $[Fe/H]$, gde je gvožđe uzeto za predstavnika svih metala iako se mogu koristiti i drugi metali. Astronomi pod metalima podrazumevaju sve teže elemente od vodonika i helijuma. Matematička formulacija glasi

$$[Fe/H] = \log\left(\frac{N_{Fe}}{N_H}\right)_* - \log\left(\frac{N_{Fe}}{N_H}\right)_\odot \quad (4.1)$$

N_{Fe} i N_H predstavljaju respektivno broj atoma gvožđa i vodonika po jedinici zapremine za zvezdu i Sunce, respektivno. Zvezda sa više metala od Sunca ima pozitivnu metaličnost i obrnuto, ako je metaličnost negativna, ona ima manje metala od Sunca. Konkretno, pošto je reč o dekadni logaritmu, ako je, recimo, $[Fe/H] = +2$, znači da data zvezda ima oko sto puta više metala od Sunca jer je $\log 10^2 = 2$, one sa +3 imaju hiljadu puta više metala od Sunca, one sa -1 imaju jednu desetinu vrednosti za Sunce, -2 imaju 10^{-2} itd.

Već pomenuta veza između metaličnosti i starosti ima i dublju pozadinu. Prema teoriji velikog praska, svemir se u početku sastojao samo od vodonika koji se u procesu primordijalne nukleosinteze delom pretvorio u helijum. Populacijom III se nazivaju prve zvezde koje su tada nastale. Nisu imale u sebi uopšte nikakvih tragova metala, bile su izuzetno masivne i u toku njihovog života u termonuklearnim reakcijama nastajali su metali sve do gvožđa. Svoj život završavale su u snažnoj eksploziji supernove. Upravo ovakve eksplozije su raširile po celom svemiru materijal od kojeg su se sastojale supernove i na taj način su se obrazovali teži elementi. Eksplozije supernovih su obogatile međuzvezdanu materiju od koje su posle nastajale zvezde nove generacije takozvana populacija II. Zvezde populacije II su izuzetno niske metaličnosti, ali kako su generacijama zvezde umirale tako su svoju okolinu tj. međuzvezdanu materiju bogatile metalima od kojih su se sada radale nove, mlađe zvezde. U mlađe zvezde spada i Sunce koje pripada Populaciji I i njihov stepen metaličnosti je visok.

Metaličnost u MP je najveća u samom centru galaksije gde je najveća i koncentracija zvezda. Dakle vremenom se mnogo više i češće metala nagomilavalo u međuzvezdanoj sredini i novonastale zvezde su bile bogatije metalima. Idući prema rubu galaksije metaličnost opada.



Kao što se može videti na Sl. 4.1. Populacija I naseljava oblast oko ravni MP, orbite su im bliske kružnicama i najveći deo kinetičke energije odlazi na učešće u rotaciji MP. Zvezde populacije II naseljavaju pretezno halo. Sastavima na krajevima spiralnih grana i u centralnom ovalu postoji mešanje ovih dveju populacija.

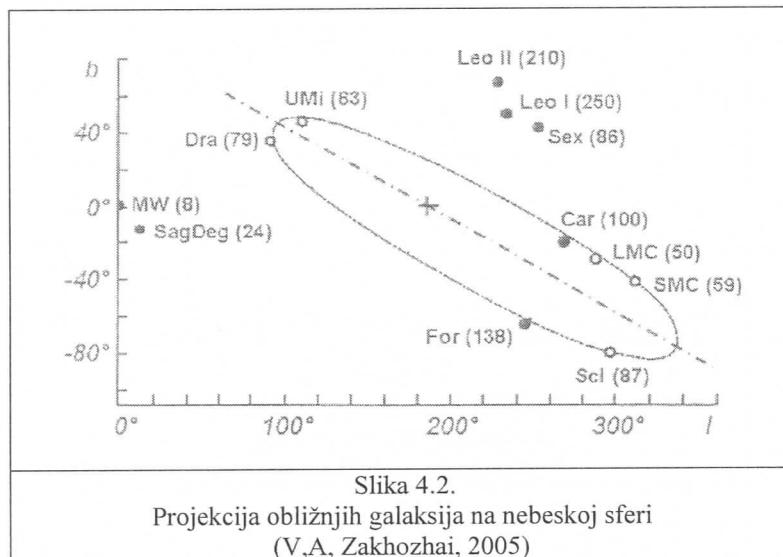
Metaličnost osim što nam može ukazati na starost zvezde, takođe igra veliku ulogu pri otkrivanju koji su delovi Galaksije prvi nastali. Smatra se da je halo deo Galaksije koji je prvo nastao jer sadrži zvezde čije metaličnosti u proseku iznose $-1,6$, oko 40 puta manje nego što ima Sunce. S obzirom da zvezde tankog diska imaju mnogo veći sadržaj metala, mišljenje je takvo da je disk onaj deo galaksije koji se poslednji formirao.

4.2. Korona

Oort, Ostriker i Peebles su predvidili postojanje korone na osnovu otkrića hladnih gasovitih masa ili oblaka u halou, koji se sa različitim brzinama kreću dole ka disku. Pritisak koji vrše tople gasovite mase u koroni suprotstavljuju se hladnim gasovitim masama koje su locirane u halou i zbog toga je na neki način korona i odgovorna za stabilnost spiralne strukture u galaktičkom disku.

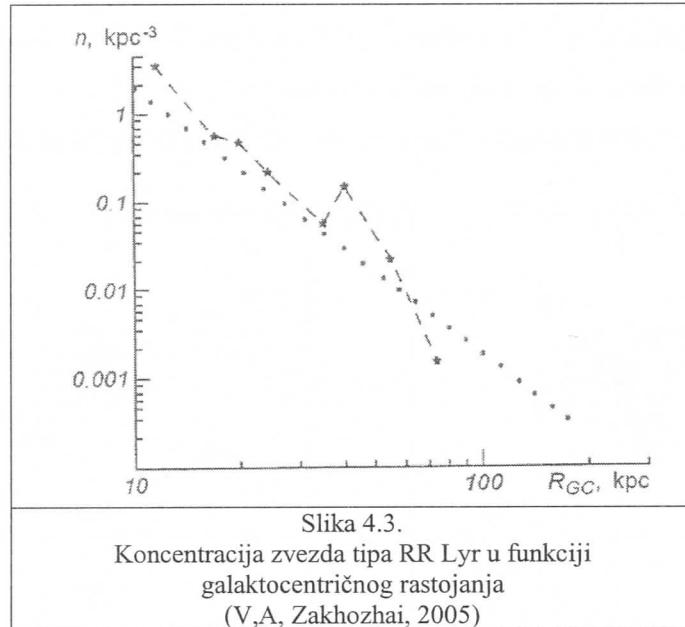
Pokazano je da naša galaksija interaguje sa svojim okruženjem i to je upravo ukazalo na samo postojanje korone. MP gravitačiono interaguje sa grupom okolnih galaksija, formirajući sistem čija je masa u skladu sa rotacionom krivom galaksije, naglašavajući da poseduje izuzetno masivnu koronu. Grupu obližnjih galaksija koje su uzete u razmatranja čine Mali i Veliki Magelanov oblak, kao i patuljaste galaksije koje nose imena svojih sazvežđa: Malog medveda (Ursa Minor), Zmaja (Draco), Vajara (Sculptor), Kobilice (Carina) i Peći (Fornax). Ima ih ukupno sedam i na Sl. 4.2. obrazuju elipsu ovde prikazanu u projekciji na nebesku

sferu. Proteže se po galaktičkoj longitudi u intervalu $90^0 \leq l \leq 340^0$ i po galaktičkoj latitudi u intervalu $-85^0 \leq b \leq 45^0$.



Einasto sa koautorima predlaže model Galaksije koji ima pet komponenti a to su: jezgro, centralni oval, halo, disk i korona sa procenom mase od oko $1,2 \cdot 10^{12} m_{\odot}$. Korona i sateliti naše Galaksije leže u sferi sa galaktocentričnim radijusom od $20 kpc \leq R \leq 250 kpc$ što predstavlja unutrašnju granicu prostiranja korone i rastojanje do najudaljenije galaksije u našem susedstvu Leo I respektivno.

The Sloan Digital Sky Survey (SDSS) nam je omogućio podatke vezano za oblasti koje su više od 10 kpc udaljene od centra Galaksije, pa sve do nekih 75 kpc. Podaci su dobijeni posmatranjem svetlih zvezda tipa RR Lyrae jer je na ovaj tip zvezda fotometrijski osjetljiv. SDSS je dovoljno osjetljiv da bi mogao da posmatra sjajne zvezde tipa RR Lyrae. Definisaćemo veličinu n - koncentraciju, kao broj zvezda u jedinici zapremine. Unutar rastojanja do 110 kpc od centra Galaksije koncentracija zvezda tipa RR Lyr ponaša se u skladu sa zakonom $n_{RRLy} \propto R_{GC}^{-3}$. Međutim na većim rastojanjima od 35 kpc imamo odstupanje koncentracije od ovog zakona i to tako da na $R_{GC} \approx 40 kpc$ se pojavljuje nagli porast broja n , da bi posle naglo opao na udaljenostima koja su $R_{GC} \geq 50 kpc$ (Sl. 4.3.). Ovakvo ponašanje broja n se može objasniti nagomilavanjem ovih zvezda u blizini apocentra na orbiti galaksije iz sazvežđa Strelca, koja interaguje sa našom, dok se nagli pad n na rastojanjima većim od 50 kpc objašnjava odsustvom istih tih zvezda jer pripadaju roju Strelca.



Zbijena zvezdana jata koja se nalaze u sfernem podsistemu razlikuju se od ostalih u čitavoj Galaksiji po svojim kinematičkim karakteristikama. Imaju visoku disperziju brzine $\sigma_v = 126 \pm 24 \text{ km s}^{-1}$ i gradijent metaličnosti iznosi $\frac{d[\text{Fe}/\text{H}]}{dR} = \frac{d[\text{Fe}/\text{H}]}{d|Z|} = 0,000 \pm 0,002 \frac{\text{dex}}{\text{pc}}$

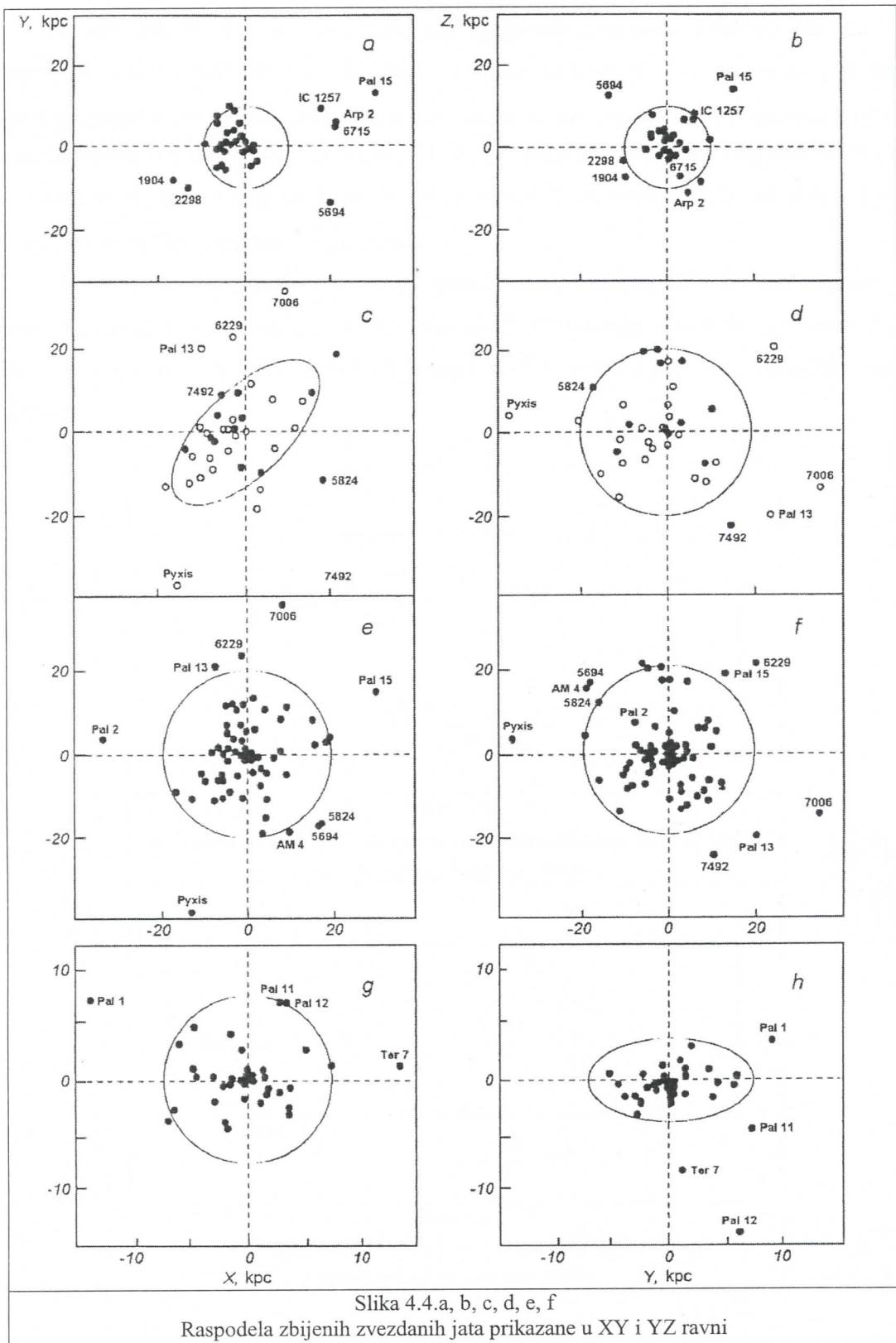
idući od centra galaksije i galaktičke ravni. Srednja metaličnost u sfernem podsistemu se procenjuje na $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1,65 \pm 0,06$.

Gravitaciono polje korone je dovoljno jako da drži na okupu okolne galaksije, satelite MP, kao i da ostvari dominaciju kod krive rotacije za veća rastojanja od centra MP. Masa korone i njene periferije se procenjuje da iznosi $(7-11) \cdot 10^{11} m_\odot$ i nju čini tamna materija (engl. dark matter).

4.3. Halo

Halo se sastoji iz dva dela a to su unutrašnji i spoljašnji halo. Zbijena zvezdana jata koja ga naseljavaju se razlikuju po različitom hemijskom sastavu i kinematičkim parametrima. Unutrašnji halo je smešten u sferi radijusa 9 kpc (Sl. 4.4 a,b), sa brzinom rotacije $V_{rot} = 77 \pm 33 \text{ km/s}$, gde je $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1,71 \pm 0,05$ i disperzija brzine je $\sigma_v = 129 \pm 19 \text{ km/s}$. Naseljavaju ga stara zvezdana jata koja pripadaju starom halou. Na Sl. 4.4. c,d je prikazan spoljašnji halo koji se još zove mladi halo radijusa od 19 kpc u YZ ravni. Ovaj mlad deo haloa ima retrogradnu rotaciju sa brzinom $V_{rot} = -23 \pm 54 \text{ km/s}$, sa disperzijom brzine koja iznosi $\sigma_v = 140 \pm 18 \text{ km/s}$. Znamo za postojanje 43 globularna jata u starom halou i 41 u mlađem delu haloa. Na Sl. 4.4. e,f se nalaze zvezdana jata haloa koja imaju nisku metaličnost, nižu od -1,0; Sl. 4.4. g,h prikazuje takođe zbijena zvezdana jata sa niskom metaličnošću ali se nalaze u debelom disku.

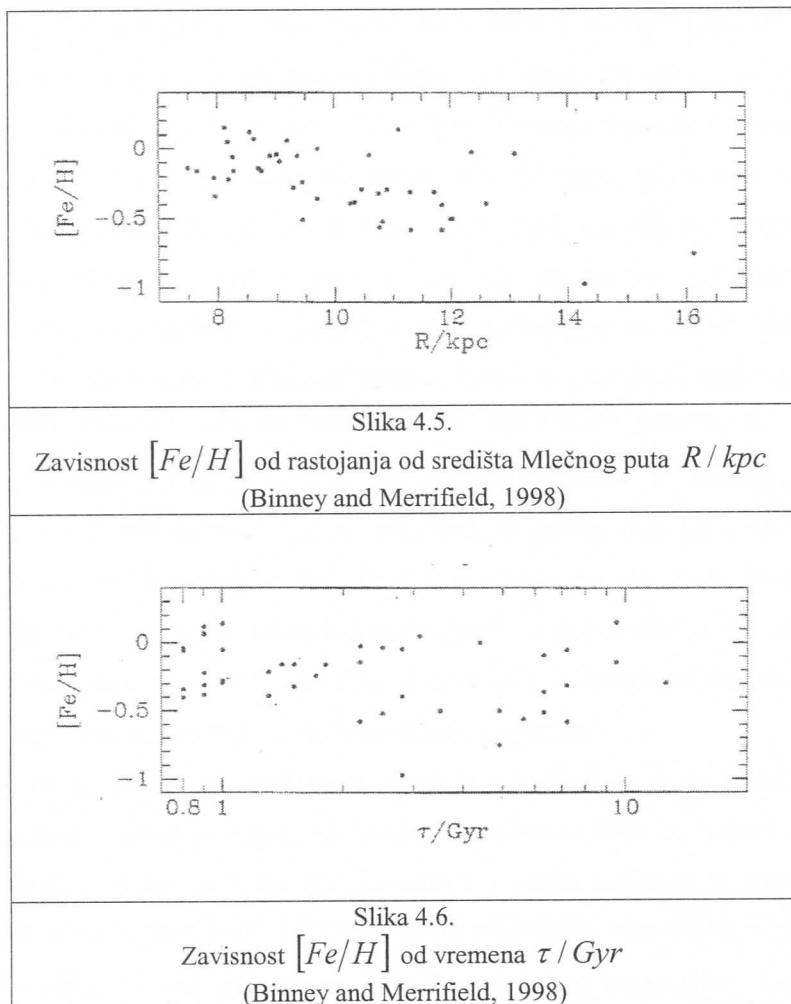
Halo sadrži oblake gasa, Complex A i Complex C, sa izuzetno visokim brzinama kretanja -128 km/s i -112 km/s respektivno. Complex A je udaljen od Sunca 8.5 kpc. Complex C ima nizak sadržaj metaličnosti i leži 3.5 kpc iznad galaktičke ravni.

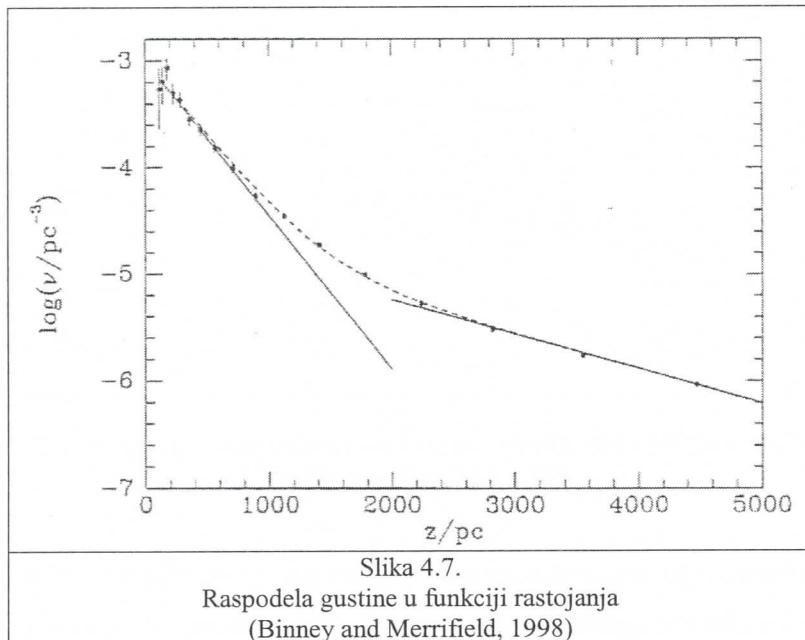


4.4. Disk

Proučavanje zbijenih zvezdanih jata nam pruža informacije vezane za istoriju samog diska. Zavisnosti date na sledećim dvema slikama odnose se na 44 zbijena jata koja se nalaze blizu ravni MP. Na Sl. 4.5. je dat grafik koji pokazuje zavisnost metaličnosti $[Fe/H]$ od rastojanja od središta MP R / kpc . Sa slike se jasno vidi da što su zvezdana jata dalje od središta MP metaličnost opada. Znači sa povećanjem rastojanja od samog središta MP u ravni diska metaličnost teži da opada. Na drugoj Sl. 4.6. je data zavisnost opet metaličnosti $[Fe/H]$ ali od vremena τ / Gyr i učljivo je to da su se u različitim vremenskim epohama formirala zvezdana jata različitih vrednosti metaličnosti.

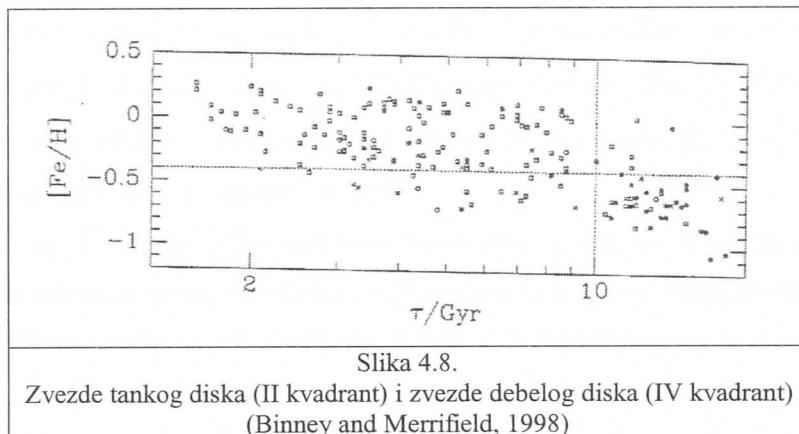
Piatti, Claria i Abadi (1995) su proučavajući crvene džinove na uzorku od 63 otvorena zvezdana jata procenili da se na bilo kojoj udaljenosti od centra galaksije kao i na bilo kojoj visini iznad ili ispod ravni MP mogu naći zvezdana jata vrlo različitih vrednosti metaličnosti.





Sl. 4.7. pokazuje kakva je raspodela gustine za zvezde apsolutnih magnituda u intervalu $4 \leq M \leq 5$ u funkciji rastojanja iznad ravni MP. Isprekidanom linijom je predstavljena zavisnost gustine kao suma dve eksponencijalne funkcije. Ovakav profil se razlikuje od eksponencijalne vrednosti $\nu \propto e^{-z/z_0}$ koja bi u log-linearnom grafu tretbala da bude prava linija. Ovakva zavisnost gustine koja ne može biti fitovana nijednom eksponencijalnom funkcijom može biti objašnjena na dva načina. Prvi je taj da MP poseduje jedan disk i da njegova vertikalna raspodela mase (po z osi ka severnom galaktičkom polu) nije eksponencijalna. Drugo tumačenje, koje je i najverovatnije, je to da MP poseduje dva diska tanak i debelo koji takođe imaju eksponencijalne zavisnosti gustine u funkciji koordinate z tj. $\nu_i(z)$. Posmatrajući zajedno obe eksponencijalne zavisnosti gustine za zvezde tankog i debelog diska dobijamo profil koji nije eksponencijalan iz razloga što na manjim udaljenostima od ravni MP dominiraju zvezde tankog diska, dok na većim z dominantnu ulogu preuzimaju zvezde debelog diska. Ove dominantnosti na različitim rastojanjima od ravni MP čine da Sl. 4.7. bude takava kakva jeste. Zaključujemo da su ova dva diska sačinjena od različitih tipova zvezda. Razlog zbog kojeg bi ta raspodela morala da bude pre eksponencijalna nego da prati drugi oblik funkcije je nepoznat.

Na sledećoj Sl. 4.8. je prikazan diagram koji je podeljen na četiri kvadranta u kojima se nalaze zvezde tankog i debelog diska. U drugom kvadrantu koji se nalazi u gornjem levom uglu su zvezde tankog diska, dok su zvezde debelog diska locirane u poslednjem četvrtom kvadrantu. Zvezde koje su starije od 10 Gyr i sa metaličnošću ispod $[Fe/H] = -0.4$ pripadaju debelom disku. Velika većina zvezda se nalazi u drugom kvadrantu, karakteriše ih veća metaličnost od -0.4 i starost manja od 10 Gyr, dakle pripadaju tankom disku. Disperzija brzina zvezda mlađih od 10 Gyr je $21 km/s$, dok disperzija brzina za zvezde debelog diska iznosi $38 km/s$.



Navedene srednje vrednosti brzine zvezda u tabeli 4.1. uzete su u odnosu na LSM koji je definisan jednačinama (3.3) i predstavljaju karakteristiku kretanja zvezda u ova dva diska.

Tabela 4.1. Vrednosti disperzija brzina zvezda diska u km/s

Spljoštena komponenta	$\langle v_\phi \rangle$	σ_R	σ_ϕ	σ_z
Tanak disk	-6	34	21	18
Debeo disk	-36	61	58	39

(Binney and Merrifield, 1998)

Spljoštenu komponentu čine tanak i debeo disk; $\langle v_\phi \rangle$ je brzina rotacije data preko kinematičke razlike; σ_R , σ_ϕ , σ_z su disperzije brzine. Gustina debelog diska iznosi 7,7 % tankog diska.

Neutralni vodonik HI je donekle ravnomerno raspoređen po galaktičkom disku od 4-10 kpc. Ukupna gustina gasne komponente u disku se povećava sa smanjenjem rastojanja do galaktičkog centra i dostiže neki svoj maksimum u intervalu 4-6 kpc. Srednja koncentracija čestica koje se nalaze u oblacima neutralnog vodonika je oko $0,2 \text{ cm}^{-3}$ na odstojanju od 110 kpc od galaktičke ravni. Postoje dve vrste oblaka gasa neutralnog vodonika koja se razlikuju po veličini od 10 pc i od 70 pc. Manji oblaci, od 10 pc, imaju skoro osam puta veću koncentraciju čestica od oblaka veličina 70 pc.

Oblaci molekularnog vodonika H_2 koji su takođe postojani u našoj Galaksiji imaju mase veće od $10^3 m_\odot$, a srednja gustina se procenjuje da iznosi 10^6 cm^{-3} .

Galaktički disk razlikuje dve vrste oblaka molekula vodonika koja ga naseljavaju u zavisnosti od temperature. Oblaci sa temperaturama u intervalu 5-200 K koji naseljavaju spiralne grane i u njima se rađaju zvezde tipa O i B i manji oblaci molekula sa karakterističnim temperaturama od 20 K do 40 K koji su rašireni po čitavom disku i sadrže zvezde čiji je spektralni tip kasniji od B Sp. Najveći oblaci molekula su procenjeni na veličinu od 1000 pc sa masama od 10^7 - $10^8 m_\odot$. Svaki od njih obuhvata manje molekulske oblake

veličina 100 pc i mase $10^4 m_{\odot}$, a oni još manje veličina 1-10 pc sa masama u intervalu od 100 do 1000 m_{\odot} . Ovako manje gasne celine predstavljaju mesto rađanja novih zvezda jer sadrže malo jezgro veličine 0,1 pc mase 1-10 m_{\odot} . Oblaci gasa koji se nalaze u koroni su najtoplji sa temperaturom od oko 6000 K i veličinama od 100 pc. Pretpostavka je da su formirani pre 10^7 godina u toku eksplozije tipa II supernove.

Posmatranjima je utvrđeno da zvezde u Sunčevom susedstvu koje su se oformile usled akrecije (engl.accretion-induced formation) se nalaze u Orionovoj maglini ili gasnom oblaku, u Gould-ovom pojusu i razvejanom zvezdanom jatu ζ Sculptoris.

Rezultati dobijeni od strane M. Abadi i koautora 2003 i N. F. Martin i koautora 2004, ukazuju da je velika većina zvezda debelog diska nastala akrecijom delova galaksija.

Ukupna masa diska koju čini gas i zvezde je procenjena na $(4-5) \cdot 10^{10} m_{\odot}$.

4.5. Centralni oval i jezgro MP

Centralni oval se prostire oko 2 kpc u intervalu $b = \pm 7,5^{\circ}$ i 4 kpc u intervalu $l = \pm 15^{\circ}$. Masa centralnog ovala je procenjena na $(3-5) \cdot 10^{10} m_{\odot}$.

Istraživanja pokazuju da se centralni oval pretežno sastoji od dve različite zvezdane populacije i to: OH/IR zvezde i M džinova. Obe zvezdane populacije su posmatrane u radijusu od 5-200 pc. Zaključeno je da su za njih srednje brzine ili brzine rotacije različite, disperzija brzine za zvezde OH/IR iznosi $\sigma_V = 50 - 100 km/s$, a za IR zvezde $\sigma_V > 100 km/s$. Izmerene su visoke rotacione brzine OH/IR zvezda koje iznose $V_r > 100 km/s$ na udaljenosti od 100 pc od centra galaksije. Na toj udaljenosti rotaciona brzina M džinova je mnogo manja.

Što se tiče podataka vezanih za jezgro MP, nedavna posmatranja u prečniku od 1 pc od njegovog centra ukazuju da su u njemu gusto naseljena zvezdana jata, neutralne i ionizovane gasne komponente. Većina zvezda su svetlo plavi superdžinovi, crveni superdžinovi, zvezde sa glavne grane Sp. A5/F5, sa masama većim od $2m_{\odot}$. Najverovatnije da centar MP sadrži veliku crnu rupu sa Schwarzschild-ovim radijusom od 0,06 AU.

Zaključak

Struktura galaksije Mlečni put je vrlo složena. To se naročito ogleda u postojanju različitih podsistema. Međutim, ni opis sa više podsistema ne može u potpunosti da objasni svu raznovrsnost MP. Deo MP oko Sunca pruža još uvek ogromne mogućnosti u dobijanju kvalitetnih i potpunih informacija. On je naročito važan jer se zvezde koje se nalaze u njemu mogu najtačnije odrediti heliocentrična rastojanja. Takodje se, baš u ovom delu, mogu sprovesti neka vrlo aktuelna istraživanja, kao što je traganje za planetama oko drugih zvezda. Zbog svega ovoga istraživanja Sunčevog susedstva su od izuzetne važnosti i njima će se i u budućnosti poklanjati pažnja.

Literatura

1. Binney, J., Merrifield, M., (1998), Galactic Astronomy, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
2. Ninković, S., (2003), Zvezdani Sistemi i Galaktička Astronomija predavanja, Beograd
3. Smart, W., M., (1953), Foundations Of Astronomy, Longmans
4. Uribe Botero, A.: 2001, u Astronomía para todos, Cap. 20: La Galaxia Vía Lactea, ed. J. G. Portilla, UNIBIBLOS, Bogotá, str. 437.
5. Vujičić, B., Djurović, S., (1995), Astrofizika sa astronomijom, Univerzitet u Novom Sadu Prirodno – matematički fakultet, Novi Sad
6. Vujnović, V., (2005), Astronomija 1 Osnove astronomije i planetski sustav, 4 dopunjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb
7. Vukićević-Karabin, M., Atanacković-Vukmanović, O., (2004), Opšta astrofizika, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Beograd, Beograd
8. Zakhzai, V., A., (2005), The Structure Of Our Stellar System, Kinematics and Physics of Celestial Bodies Vol. 21, No. 6, pp. 283-304, Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine (Russiaam edition), Allerton Press, Inc.
9. <http://www.astro.virginia.edu/>
10. <http://anzwers.org/free/universe/hr.html>
11. www.ifa.hawaii.edu/~barnes/ast626_97/ksn.html
12. <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/ETEmain.html>
13. <http://etacar.umn.edu/%7Emartin/index.html>
14. <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/distances.html>
15. <http://outreach.atnf.csiro.au/>
16. <http://www.esa.int/esaCP/index.html>

Biografija



Rođena je 30. novembra 1984. godine u Kikindi. Završila je Osnovnu školu "Đura Jakšić" 1999, kada upisuje gimnaziju "Dušan Vasiljev" prirodno-matematički smer, takođe u Kikindi.

Studije, kao druga generacija studenata astronomije (sa astrofizikom) na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu, na departmanu za fiziku, započinje 2003. godine.

Tokom studija učestvovala je na međunarodnim konferencijama fizike ICPS-a (International Conference for Physics Students).

Godine 2004. konferencija ICPS-a se održala u Novom Sadu, gde je izlagala rad pod nazivom: "Work of Nicola Tesla". Godine 2005. učestvuje na istoj konferenciji održanoj u Koimbri u Portugalu gde izlaže rad: "Determination of Galactocentric orbits". Naredne godine izlagala je rad pod nazivom "A Formula Describing Mass Distribution" na istoj konfernciji održanoj u Bukureštu. Ove godine, 2007. pohađala je međunarodnu zimsku školu astrofizike SIWA (Split International Winter School of Astrophysics) u Splitu (19.02.2007 – 03.03.2007). Izlagaće svoj diplomski rad u Londonu na konferenciji ICPS-a koja će biti održana osmog meseca 2007 godine.

Dobitnik je nagrada Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu za postignute uspehe za školsku 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 i nagrade Univerziteta u Novom Sadu za prosek studiranja preko 9,50 za školsku 2003/2004.

U aprilu 2007. godine je položila sve ispite predviđene nastavnim planom i programom.

Spisak objavljenih radova:

Navedeni radovi koji su izlagani na konferencijama su objavljeni kao abstrakti.

Čajko K: "Work of Nicola Tesla", Conference Handbook ICPS 2004, August 2004., Novi Sad

Mentor: prof. dr Svetlana Lukić, red. prof. Univerziteta u Novom Sadu

Čajko K: "Determination of Galactocentric orbits", International Conference for Physics Students, August 2005., Coimbra, Portugal, str. 47-48

Mentor: dr Slobodan Ninković, Astronomski observatorija Beograd

Čajko K: "A Formula Describing Mass Distribution", Participant's Handbook, International Conference for Physics Students, August 2006., Bucharest, Romania, str.11-12

Mentor: dr Slobodan Ninković, Astronomski observatorija Beograd

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska dokumentacija

Tip zapisa:

TZ

Tekstualni štampani materijal

VZ

Diplomski rad

VR

Autor:

AU

Kristina Čajko, 135/03

Mentor:

MN

Dr. Slobodan Ninković

Naslov rada:

NR

Viđenje Mlečnog puta kroz Sunčevu susedstvo

Jezik publikacije:

JP

srpski (latinica)

Jezik izvoda:

JI

srpski/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP

Srbija

Uže geografsko područje:

UGP

Vojvodina

Godina:

GO

2007

Izdavač:

IZ

Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada:

FO

Astronomija

Naučna oblast:

NO

Galaktička astronomija

Naučna disciplina:

ND

Sunčeva okolina, struktura Galaksije, kinematika zvezda

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

UDK

Čuva se:

ČU

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Važna napomena:

VN

nema

Izvod:

IZ

Pod Sunčevom okolinom podrazumevamo oblast oko Sunca u kojoj se nalaze i druge zvezde i čiju paralaksu možemo izmeriti. Od izuzetnog su

značaja jer su one i jedino dobro proučavane. Rađanje, evolucija i smrt zvezde nam može dati korisne informacije vezano za strukturu galaksije.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

06. 07. 2007.

DO

Članovi komisije:

KO

dr Božidar Vujičić, red. prof.

Predsednik:

dr Slobodan Ninković, docent

član:

dr Svetlana Lukić, red. prof.

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS**

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Mentor/comentor:

MN

Title:

TI

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication:

LP

Publication year:

PY

Publisher:

PU

Publication place:

PP

Physical description:

PD

Scientific field:

SF

Scientific discipline:

SD

Subject/ Key words:

SKW

UC

Holding data:

HD

Note:

N

Abstract:
AB
Under the Sun's neighbourhood we consider those stars for which the parallax (mainly) trigonometric can be measured. They are important because they are the only ones that have been rather well studied. Birth, evolution and death of stars can give us some information about the structure of the Galaxy.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

6th of July, 2007

DE

Thesis defend board:

DB

President: Prof. dr Božidar Vujičić

Member: Doc. dr Slobodan Ninković

Member: Prof. dr Svetlana Lukić

