

# Struktura Mlečnog puta dobijena iz posmatranja neutralnog vodonika

---

*Određivanjem strukture Mlečnog Puta na osnovu posmatranja neutralnog vodonika, pokazano je da je ona u osnovi spiralna, ali na mnogim mestima vrlo složena, pa i nepravilna. Kao krajnji rezultat dobijena je skica Mlečnog puta u galaktičkoj ravni u intervalu od  $3^\circ$  do  $253^\circ$  po longitudi.*

*Ključne reči: neutralni vodonik, radijalna brzina, struktura galaksije.*

---

## Uvod

Dvadesetih godina ovog veka Habl (Hubble) nedvosmisleno je pokazao da su posmatrane spiralne magline na noćnom nebu zvezdani sistemi slični našoj galaksiji. Niz radova posvećenih strukturi Mlečnog Puta pokazuju da je ona spiralna, ali da je njeno bliže određivanje vrlo otežano. Jedan od do sada najpouzdanijih metoda za određivanje strukture jeste metod proučavanja rasporeda neutralnog vodonika (HI, čita se ha jedan). Razlozi za to jesu velika propustljivost galaktičkog prostora za zračenja neutralnog vodonika na talasnoj dužini od 21 cm (frekvencije 1420.406 MHz) i njegova velika rasprostranjenost (opažen je i istraživana u skoro svim delovima galaksije).

Cilj ovog rada je određivanje strukture Mlečnog Puta u vidu skice na osnovu posmatranja neutralnog vodonika u galaktičkoj ravni na longitudama od  $3^\circ$  do  $253^\circ$ .

## Metod rada

Kao što je već pomenuto frekvencija zračenja samog neutralnog vodonika iznosi 1420.406 MHz, na talasnoj dužini od 21 cm. Međutim, radio-teleskop ne registruje zračenja samo jednog već velikog broja atoma

---

*Nenad Božinović  
(1979), Niš, Patrisa Lumumbe 4/5, učenik 2.  
razreda Gimnazije „Svetozar Marković“ u Nišu*

od kojih, pri haotičnom kretanju, svaki ima svoj vektor brzine. Zbog ovakvog ponašanja atoma i Doplerovog efekta dolazi do širenja spektralne linije čiji profil ima oblik Gausove raspodele. Pošto se, učestvujući u rotaciji galaksije, i sam oblak kreće u prostoru, cela linija će zbog Doplerovog efekta biti pomerenjena u odnosu na osnovnu frekvenciju 1420.406 MHz koja odgovara radijalnoj brzini oblaka:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad \text{i} \quad v f = c \quad \text{sledi} \quad \frac{f_0}{f} - 1 = \frac{v}{c} \quad (1)$$

gde su:  $f$  i  $\lambda$  frekvencija i talasna dužina oblaka a  $c$  brzina svetlosti. Ako bi duž jednog pravca postojalo nekoliko oblasti koje zrače onda bi se na profilu javilo nekoliko pikova koji označavaju frekvencije zračenja tih oblasti. Zbog linearne zavisnosti radijalne brzine i promene frekvencije, zamenom u (1) za  $v = 1$  km/s dobijamo za  $f$  vrednost od 4.74 kHz. Koristeći ovaj odnos iz frekvencije možemo direktno izvesti i radijalnu brzinu, pošto je ovakav način izražavanja podataka (zamenom frekvencije radijalnom brzinom) pregledniji i praktičniji.

Radijalna brzina nekog tela je, u opštem slučaju, projekcija brzine tela na pravac ka referentnom objektu (konvencijom se uzima za pozitivan znak udaljavanje jednog objekta od drugog). U našem slučaju oblak neutralnog vodonika kreće se u odnosu na Sunce (rastojanje Zemlja-Sunce je zanemarljivo u galaktičkim razmerama).

Pogledajmo kako položaj nekog objekta u Galaksiji utiče na radijalnu brzinu. Pri tome ćemo, zbog veoma složenih kretanja (osim diferencijalne rotacije!) unutar Galaksije, uzeti da svaka tačka vrši samo kružno kretanje, tj. ima vektor brzine normalan na pravac prema centru galaksije i intenzitet jednak proizvodu rastojanja od centra i ugaone brzine u toj tački (sl. 1). Nakon niza transformacija dobijamo osnovnu jednačinu analize galaktičke strukture:

$$v = \omega R \left( \sin \theta \cos l + \cos \theta \sin l \right) - \omega_0 R_0 \sin l.$$

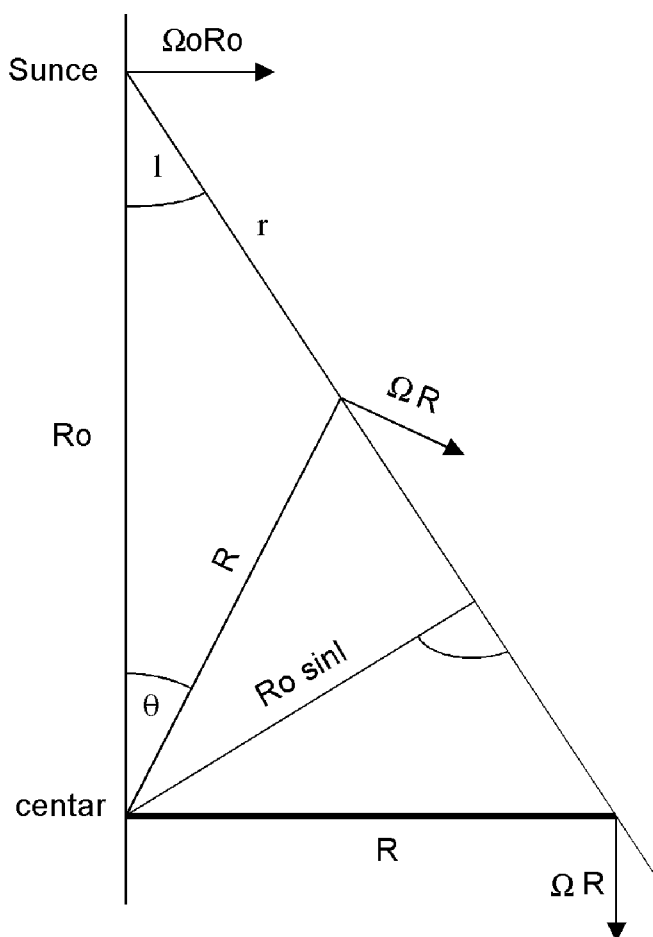
Pošto važi:

$$r \sin l = R \sin \theta \quad \text{i} \quad R \cos \theta + r \cos l = R_0 \quad \text{sledi:}$$

$$v = R_0 \cdot \left( \omega(R) - \omega_0 \right) \quad (2)$$

gde je:  $v$  radijalna brzina,  $r_0$  i  $\omega_0$  rastojanje od centra galaksije i ugaona brzina Sunca,  $l$  galakticka longituda,  $\theta$  galaktocentrički azimut i  $\omega$  ugaona brzina objekta.

Jasno je da ugaona brzina nije ista za tačke na različitim rastojanjima od centra što postavlja pitanje određivanja rotacione krive galaksije. U



Slika 1.  
Skica korišćena pri  
izvođenju jednačine (2).

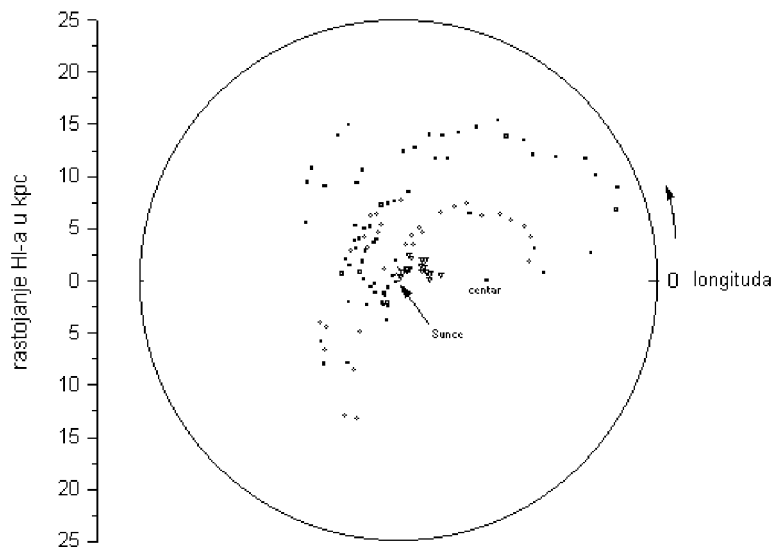
Figure 1.  
Parameters considered  
in equation (2).

radu se koristi rotaciona kriva koju su odredili Brand i Blitz 1988 [1], na osnovu posmatranja neutralnog (HI) i jonizovanog (HII) vodonika i čiji analitički oblik glasi:

$$\frac{\omega(R) \cdot R}{v_0} = 1.0074 \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)^{0.0382} + 0.00698 \quad (3)$$

gde su:  $R$  i  $\omega(R)v$  rastojanje od centra i ugaona brzina te tačke,  $R_0$  rastojanje Sunca od centra, a  $v_0$  linijska brzina Sunca. Ove vrednosti iznose 8.5 kpc i 220 km/s i dobijaju se iz posmatranja i izračunavanja [1], koje odstupaju od predmeta ovog rada.

Za dobijanje strukture Galaksije korišćene su dve vrste podataka koje se odnose na profile neutralnog vodonika dobijenih na osnovu posmatranja radio-teleskopom na galaktičkim longitudama od  $3^\circ$  do  $253^\circ$  na frekvencijama u blizini 1420.406 MHz – interval 1419.837 – 1420.619 MHz.



Slika 2.  
Dobijena struktura  
spiralnih krakova.

Figure 2.  
Obtained spiral arms  
structure.

Prva vrsta se sastoji od datih vrednosti intenziteta zračenja za radijalne brzine od  $-120$  do  $+45$  km/s sa korakom 5 km/s na 68, 73, 108, 113, 118, 123, 128, 133, 138 stepeni galaktičke longitude. Da bi se dobili što precizniji podaci koje odgovaraju maksimumima interpolacione krive, prvo se vrši interpolacija, a zatim se određuje radijalna brzina dobijenih pikova. Pri ovome se koristi Langražov metod interpolacije [2], a zatim iterativni metod za dobijanje brzina. Vrednosti dobijenih radijalnih brzina zamenjene su u formuli (2), odakle su dobijene vrednosti funkcije  $\omega(R)$ . Iteracijom u formuli (3), za svaku vrednost  $\omega$  traži se najpribližnije  $R$ .

Druga vrsta podataka sastoji se iz grafičkog prikaza profila za longitude od  $3^\circ$  do  $253^\circ$  sa korakom  $5^\circ$ . Obrada ovih podataka urađena je tako što su sa grafika lenjirom očitavane vrednosti radijalnih brzina, a potom, istim postupkom kao i u prethodnom slučaju, za izmerene radijalne brzine određene odgovarajuće ugaone brzine (2), na osnovu kojih su pomoću formule (3) izračunata rastojanja od centra.

Na osnovu ovako dobijenih rastojanja oblasti neutralnog vodonika od centra Galaksije, primenom kosinusne teoreme, izračunata su njihova rastojanja od Sunca. Za izračunavanja su urađeni potrebni programi u PAS-CAL-u, dok je skica Galaksije urađena pomoću softvera ORIGIN.

## Rezultati i diskusija

Dobijena je skica na kojoj se prepoznaju oblasti neutralnog vodonika, raspoređene u spiralnim kracima (Slika 2). Primećuje se da se vodonik raspoređuje duž spiralnih grana što pokazuje da Mlečni Put, kao i veliki broj

ostalnih galaksija, ima spiralnu strukturu. Uočena su ukupno tri spiralna kraka što se slaže sa poznatim podacima iz literature [3]. Može se zapaziti da se i Sunce nalazi u jednom od tih krakova.

Primećeno je još da se prvi i treći krak sa povećanjem longitude u ovom delu galaksije šire, dok se drugi krak ponaša suprotno tj. približava se centru. Ovo, kao i neka odstupanja oblasti neutralnog vodonika od spiralne strukture, samo pokazuje složenost strukture naše Galaksije.

---

## Literatura

- [ 1 ] Verschuur G.L., Kellermann K.I. 1988. Galactic and Extragalactic Radio Astronomy. In *The structure of our galaxy derived from observations of neutral hydrogen*, (ed. W. B. Burton). New York: Springer
- [ 2 ] Dajović, V. 1988. *Analiza i numerička analiza za 3. razred usmerenog obrazovanja*. Beograd: Naučna knjiga
- [ 3 ] Vujnović, V. 1990. *Astronomija 2*. Zagreb: Školska knjiga

---

*Nenad Božinović*

## The Structure of Milky Way Derived from Observations of Neutral Hydrogen

The observations of neutral hydrogen in the Milky Way showed its structure to be spiral, although at places very complex and irregular. The final result is a drawing of the Milky Way along the galactic plane from longitude  $3^\circ$  to  $253^\circ$ .

