

Površinski sjaj Petlje I i Petlje II

U radu je izračunat površinski sjaj tzv. Petlje I (Severnog Polarnog Luka) i Petlje II (lukova u Vodoliji i Ovnu) na 38, 408 i 1420 MHz, pri tome normalizovan na frekvenciju od 1 GHz. Rezultati se u okviru greške slažu sa ranije dobijenim vrednostima površinskog sjaja Petlji na drugim frekvencijama [1]. Kod obe Petlje primećene su male promene površinskog sjaja između ove tri korišćene frekvencije. Za luk u Ovnu su određeni i diferencijalni spektralni indeksi između 38 i 408 MHz, 38 i 1420 MHz, i 408 i 1420 MHz.

Uvod

Na prvim pregledima neba, u području radio zračenja, uočene su strukture velikih dimenzija tzv. galaktički lukovi. Pokazalo se da su lukovi uglavnom delovi većih celina, sfernog oblika, koje se nazivaju petlje. Jedna od hipoteza o poreklu ovih struktura je da su ove petlje veoma stari ostaci supernovih, starosti procenjene na do milion godina. Sa druge strane, pokazano je da postoji linearna zavisnost između prečnika (dijametra) i površinskog sjaja ostataka supernovih [1]. Dijagram koji prikazuje ovu zavisnost je nazvan Σ - D dijagramom (Σ je površinski sjaj, a D dijametar petlje).

Veoma stari ostaci supernovih (starosti reda 10^5 - 10^6 godina) su daleko malobrojniji u odnosu na ukupan broj ostataka supernovih (u daljem tekstu SNR, od SuperNova Remnants). Određivanje položaja tako starih objekata na Σ - D dijagramu je od velikog značaja, budući da se na dijagramu može videti evolutivni put SNR ostataka. Ovaj dijagram u stvari predstavlja prikaz razvoja ostataka supernovih. Kako na položaj objekata na Σ - D dijagramu utiče u velikoj meri gustina međuzvezdane sredine u pravcu posmatranja, položaj veoma starih SNR, kao što su Petlje, može pokazati do koje je granice uopšte preporučljivo koristiti Σ - D dijagram.

Cilj ovog rada je da se odredi površinski sjaj Petlje I i Petlje II. Uz pomoć već postojećih podataka za njihov dijametar i izračunatog površinskog sjaja lako se određuje položaj ove dve petlje na Σ - D dijagramu.

*Dušan Kereš (1976),
Padina, 2. oktobra
20/a, učenik 4. razreda
Gimnazije „Mihajlo
Pupin” u Kovačici*

*MENTOR:
Mr Silvana Nikolić,
Istraživačka stanica
Petnica*

Podaci

Korišćeni su radio pregledi celog neba (ili dela neba) u kontinuumu na frekvencijama 38 MHz [5,7], 408 MHz [2,7] i 1420 MHz [11,12,7]. Intenzitet radio zračenja je dat preko temperature po sjaju ¹ tačaka uzorkovanih na svaka 4 stepena po galaktičkoj latitudi i longitudi. Rezolucija korišćenih pregleda je $7.25^\circ \times 8.25^\circ$ (izvorna rezolucija pregleda na 38 MHz, a pregledi na druge dve frekvencije su, od strane njihovih autora, konvoluirani na ovu razdvojnju moć). Sva posmatranja su rađena srazmernim teleskopima. Temperatura po sjaju koja je korišćena u ovom radu je ukupna (suma glavnog i bočnih listova) temperatura antene.

Petlja I

Kao Petlja I je uziman samo Severni Polarni Luk (dalje NPS, od engleskog North Polar Spur), koji je njen najveći deo. Na korišćenim pregledima nisu postojala posmatranja za neke delove ove Petlje, dok su neki slabiji lukovi (koji čine ovu petlju) bili teško vidljivi na mapama ove razdvojne moći (postupak konvolucije u velikoj meri izgladuje stvarnu sliku, tako da se slabiji lukovi „utope“ u opšti sjaj). Uzimani su podaci u opsegu galaktičke latituda od $+22^\circ$ do $+74^\circ$. Opseg longituda, za 38 MHz i 408 MHz, je dat u tabeli 1. u prilogu.

Opseg longituda na određenoj latitudi određen je na sledeći način: uzimana je temperatura po sjaju počevši od glavnog grebena luka (oblast luka sa maksimalnom temperaturom po sjaju), do longituda na kojima snaga zračenja luka pada na polovinu [1]. Vodio se računa i o tome da se ne uzimaju podaci sa delova koji ne pripadaju luku, a ispunjavaju uslov da im je snaga zračenja veća od polovine snage zračenja glavnog grebena NPS-a (na istoj latitudi). Na 1420 MHz je uziman isti opseg longituda kao i na 408 MHz, zato što je na 1420 MHz nebo prilično „glatko“ (bez velikih fluktuacija temperature). Zbog „glatkoće“ neba snaga zračenja je veća od polovine snage zračenja glavnog grebena daleko iza procenjenog područja NPS-a, pa je aproksimativno uzet isti opseg kao i na 408 MHz.

Na ovaj način (uzimanje opsega do polovine snage glavnog grebena) ujedno se uzima opseg longituda kojim se prati prirodno savijanje luka ka nižim longitudama sa porastom latituda.

Petlja II

Za Petlju II, koju čine lukovi u Vodoliji, Ovnu i Kitu, uzet je opseg latituda od -26° do -54° za luk u Vodoliji, i za luk u Ovnu opseg latituda od -22° do -54° . Zbog teške detekcije luka u Kitu, za taj luk nije računat

1 – Temperatura po sjaju u određenom pravcu neba jednaka je temperaturi crnog tela koje se nalazi u tom pravcu i čija je snaga zračenja u jediničnom prostornom uglu sa jedinične površine iz jediničnog opsega frekvencija, jednaka snazi koju primamo. Naziv „temperatura po sjaju“ zadržan je iz istorijskih razloga i posle saznanja da većina mehanizama kojima se emituje radio zračenje nije toplotne prirode.

površinski sjaj. Opseg longituda je određen na isti način kao i za NPS (tabele 2 a i 2 b, u prilogu).

Metod

Temperatura po sjaju se dobija iz Rejli-Džinsove aproksimacije za dugotalasni deo spektra [13]:

$$T_b = \frac{c^2}{2 k f^2} B_f \quad (1)$$

gde je T_b temperatura po sjaju, a B_f sjaj na datoj frekvenciji.

Iz podataka za T_b iz područja petlje (ili luka) dobija se, kao aritmetička sredina vrednosti za temperaturu po sjaju za sve tačke u području luka, srednja temperatura po sjaju petlje. Dalje u tekstu pod T_b će se podrazumevati srednja temperatura po sjaju.

Pošto su korišćena posmatranja predstavljala zbir zračenja posmatranih objekata (lukova, petlji), pozadinskog mikrotalasnog zračenja i zračenja nerazdvojenih izvora (vangalaktičko zračenje i tačkasti izvori) trebalo je odstraniti „zračenje pozadine”, tj. od srednje temperature po sjaju petlje oduzeti ove doprinose.

Da bi se dobijeni rezultati mogli upoređivati, podaci za T_b na svim frekvencijama normalizuju se na frekvenciju od 1 GHz (izvođenje sledi kasnije).

Važi sledeće:

$$T_{b,1\text{GHz}} = T_b \left(\frac{1000}{f} \right)^{-\Delta\alpha_t} \quad (2)$$

gde je $\Delta\alpha_t$ diferencijalni toplotni spektralni indeks, a f frekvencija sa koje ormalizujemo T_b na 1 GHz.

Diferencijalni spektralni indeks je spektralni indeks komponente zračenja čiji se intenzitet menja od tačke do tačke posmatrane oblasti, a toplotni jer se odnosi na temperaturu po sjaju (u daljem tekstu govoriće se o „diferencijalnim spektralnim indeksima” imajući u vidu da je uvek reč o toplotnim diferencijalnim spektralnim indeksima).

Uz pretpostavku da se primljeno zračenje sastoji od jedne izotropne i jedne anizotropne komponente, ukupna merena temperatura po sjaju na frekvenciji f_1 biće [6, 9]:

$$T(f_1, x, y) = T_i(f_1) + T_a(f_1, x, y)$$

a na frekvenciji f_2 [6, 9]:

$$T(f_2, x, y) = T_i(f_2) + T_a(f_2, x, y)$$

Ako je količnik anizotropnih temperatura nezavisan od koordinata, imamo:

$$\frac{T(f_1, x, y)}{T(f_2, x, y)} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{-\Delta\alpha_t} = a_{12}$$

Određivanje diferencijalnog spektralnog indeksa se vrši pomoću tzv. T-T grafika. To su grafici na čijoj se apscisi nalazi temperatura po sjaju određenog objekta (rasprostrtog izvora radio zračenja) na višoj frekvenciji, a na ordinati se nalazi temperatura po sjaju istog objekta na nižoj frekvenciji (dve frekvencije između kojih se određuje diferencijalni spektralni indeks).

Dobijamo da je zavisnost između temperatura radio zračenja na dve frekvencije:

$$T(f_1, x, y) = T(f_2, x, y) \cdot a_{12} + C, \quad (3)$$

gde C predstavlja osetak na y osi i predstavlja izotropnu komponentu zračenja [6,9].

Na ovaj način se uzima samo diferencijalni spektralni indeks anizotropne komponente zračenja petlje. Spektralni indeks se određuje za svaku od latituda u oblasti luka posebno, pa se iz njih dobija srednja vrednost spektralnog indeksa za područje celoga luka.

Na opisani način su dobijeni diferencijalni spektralni indeksi između 38 i 408 MHz, 38 i 1420 MHz kao i 408 i 1420 MHz. Pošto se u radu svi podaci svode na 1 GHz treba izračunati i diferencijalne spektralne indekse između korišćenih frekvencija i frekvencije od 1 GHz. Diferencijalni spektralni indeksi za luk u Ovnu su računati u ovom radu (u tabeli 7 u prilogu), dok su za NPS i luk u Vodoliji preuzeti iz literature Š9,8Ć respektivno.

Zavisnost između diferencijalnog spektralnog indeksa $\Delta\alpha_t$ i logaritma geometrijske sredine frekvencija f_{geom} između kojih se spektralni indeks traži je sledeća [6,9]:

$$\Delta\alpha_t = A \cdot \log f_{geom} + B \quad (4)$$

gde su A i B parametri koji se određuju metodom najmanjih kvadrata. Kao polazni podaci za izračunavanje spektralnih indeksa između frekvencija korišćenih pregleda neba i frekvencije 1 GHz, korišćeni su diferencijalni spektralni indeksi između 38 i 408 MHz, 38 i 1420 MHz i 408 i

1420 MHz. Spektralni indeksi su izračunati za NPS i luk u Vodoliji i Ovnu.

Površinski sjaj Σ se takođe normalizuje na 1 GHz i dobija se iz formule (1):

$$\Sigma_{1\text{ GHz}} = 2 k T_{b,1\text{GHz}} \left(\frac{f}{c} \right)^2 \quad (5)$$

gde je Σ – površinski sjaj, a $f = 1\text{GHz}$.

Pošto se površinski sjaj daje po steradianu dobijenu vrednost za površinski sjaj treba podeliti sa prostornim uglom iz koga dolazi zračenje petlje datim u steradianima. Veličina cele Petlje na nebu se uzima iz [1] i pomoću nje se određuje traženi prostorni ugao.

Položaj na Σ - D dijagramu ove dve petlje može se odrediti uzimajući de je prečnik Petlje I $D = (230 \pm 135)$ pc, a Petlje II $D = (175 \pm 65)$ pc [1]. Pošto je cilj ovog rada bio određivanje površinskog sjaja, položaj ovih petlji na Σ - D dijagramu nije posebno analiziran.

Uračunate su i greške za sve parametre u računu. Greške za dobijene rezultate su računane standardnim statističkim metodama. Početne greške posmatranja iznose na 38 MHz – 10%, na 408 MHz – 10%, a na 1420 MHz 5%. Greška za jonosfersku apsorpciju na 38 MHz u području NPS-a iznosi 2.5%, u području luka u Vodoliji 14%, a za luk u Ovnu oko 5%. Ovu grešku treba dodati grešci posmatranja od 10% na 38MHz. Ova greška je zanemarljiva na višim frekvencijama, pa njen doprinos na 408 i 1420 MHz nije uračunat.

Rezultati

Petlja I

Proračunat je površinski sjaj za Petlju I, iako je on verovatno malo uvećan zbog toga što je uzimano samo područje NPS-a koji je najsjajniji deo Petlje I.

Da bi se proračunao površinski sjaj petlji, prethodno je izračunata srednja temperatura po sjaju po steradianu. Uzeto je da prečnik Petlje I iznosi 126° [1], što znači da zračenje dolazi iz prostornog ugla veličine 3.4307 sr. Srednja temperatura po sjaju po steradianu Petlje I na 38 MHz iznosi 3556 K, na 408 MHz iznosi 8.49 K, a na 1420 MHz 0.24 K (bez pozadinskog zračenja). Za količinu zračenja pozadine na 38 MHz korišćena je vrednost od 2098 K [3], na 408 MHz 5.89 K i na 1420 MHz 2.93 K [4].

² – Površinski sjaj u određenom pravcu neba je snaga zračenja, po jediničnoj površini po jediničnom prostornom uglu po jediničnom opsegu frekvencija, koju primamo iz tog dela neba

Dobijeni su sledeći rezultati (tabela 1):

Tabela 1. Vrednosti dobijene za Petlju I: srednja temperatura po sjaju na 1 GHz, diferencijalni spektralni indeks i površinski sjaj

f [MHz]	$T_{b1\text{GHz}}$ [K]	$\Delta \alpha_f$	$\Sigma_{1\text{GHz}}$ [$10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \text{ sr}^{-1}$]
38	0.8 ± 0.3	2.58 ± 0.06	2.4 ± 0.8
408	0.7 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.0 ± 0.4
1420	0.8 ± 0.2	3.2 ± 0.2	2.3 ± 0.6

U drugoj koloni tabele data je srednja temperatura po sjaju po steradijanu normalizovana na 1 GHz, u trećoj diferencijalni spektralni indeks između frekvencije navedene u prvoj koloni i 1 GHz-a, a u poslednjoj površinski sjaj normalizovan na 1 GHz.

Petlja II

Srednja temperatura po sjaju po steradijanu za luk u Vodoliji na 38 MHz je 3387 K, a na 408 MHz iznosi 7.25 K. Nije izračunata srednja temperatura (pa ni površinski sjaj) na 1420 MHz zbog toga što je nebo na toj frekvenciji suviše „glatko”. Ukoliko bi se za opseg NPS-a na ovoj frekvenciji uzeo opseg sličan kao na 38 MHz i 408 MHz, a pri tome ispunjavao početne uslove (polovina snage glavnog grebena, praćenje oblika luka...) prostor koji bi pripao oblasti NPS bi bio skoro dvostruko veći.

Za Luk u Ovnu srednja temperatura po sjaju po steradijanu na 38 MHz je 3014 K, na 408 MHz iznosi 8.25 K, a na 1420 MHz 0.295 K. Primećuje se da ne postoje velike razlike u usrednjenim temperaturama po sjaju po steradijanu za ove radio lukove.

Izračunata je ukupna srednja temperatura po sjaju po steradijanu za Petlju II na 38 i 408 MHz (srednja vrednost T_b za lukove u Vodoliji i Ovnu): na 38 MHz iznosi 3151 K, na 408 MHz 8.00 K. Za prečnik Petlje II je uzeto 106° [1], što znači da zračenje dolazi iz prostornog ugla veličine 2.5019 sr. Rezultati su u tabeli 2, kao i tabelama 4 a i 4 b u prilogu.

Tabela 2. Vrednosti dobijene za Petlju II: srednja temperatura po sjaju na 1 GHz, diferencijalni spektralni indeks i površinski sjaj

f [MHz]	$T_{b1\text{GHz}}$ [K]	$\Delta \alpha_f$	$\Sigma_{1\text{GHz}}$ [$10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \text{ sr}^{-1}$]
38	0.6 ± 0.3	2.6 ± 0.1	1.7 ± 0.9
408	0.6 ± 0.2	2.8 ± 0.2	2.0 ± 0.6

U drugoj koloni tabele 2. data je srednja temperatura po sjaju po stardijanu normalizovna na 1 GHz, u trećoj diferencijalni spektralni indeks

između navedene frekvencije i frekvencije od 1 GHz, a u četvrtoj koloni površinski sjaj za Petlju II normalizovan na 1 GHz.

Zaključak

Izračunat je površinski sjaj za Petlju I na 38, 408 i 1420 MHz, a za Petlju II na 38 i 408 MHz. Kako do sada površinski sjaj za ove objekte nije računat na ovim frekvencijama, rezultati su se upoređivali sa rezultatima na 820 MHz [1]. Budući da su svi rezultati normalizovani na 1 GHz, moguće je bilo direktno poređenje. Može se zaključiti da se podaci na sve tri frekvencije korišćene u ovom radu i na 820 MHz slažu u okviru greške.

Vidimo da je površinski sjaj Petlje I na 38 i 1420 MHz nešto veći u odnosu na 408 MHz (oko 15%). Na krajnju vrednost površinskog sjaja utiče mnogo faktora kao što su: karakteristike međuzvezdane sredine u kojoj se petlja nalazi, kao i sam oblik spektra sinhrotronskog zračenja. Uzimajući u obzir i činjenicu da je zračenje „pozadine” uzimano iz različitih izvora za različite frekvencije, kao i različite greške posmatranja, ne možemo sa sigurnošću reći šta je uzrok ovoj pojavi.

Površinski sjaj Petlje II na 408 MHz je povišen u odnosu na površinski sjaj na 38 MHz.

Kod Petlje II vidimo da je površinski sjaj luka u Ovnu veći od površinskog sjaja luka u Vodoliji za oko 50% što se može protumačiti različitim uslovima u međuzvezdanoj sredini u kojoj se lukovi razvijaju (tj. da se evolucija pojedinih delova Petlje II nije odvijala pod istim uslovima).

Vrednosti za površinski sjaj Petlje II kao celine su mnogo bliže površinskom sjaju luka u Vodoliji, iako luk u Ovnu zauzima veći deo Petlje II, zbog usrednjavanja spektralnih indeksa. Usrednjavanje se vršilo za vrednosti spektralnih indeksa između frekvencija na kojima su uzimana posmatranja, a ne između pojedinih frekvencija i 1 GHz-a.

Značaju ovog rada doprinosi i to da su određeni diferencijalni spektralni indeksi za luk u Ovnu između 38 MHz i 408 MHz, 38 MHz i 1420 MHz, i 408 MHz i 1420 MHz (tebela 3. u prilogu).

Zahvalnost: Mr Silvani Nikolić na nesebičnoj pomoći i podršci pri realizaciji ovog rada i Dr Jeleni Milogradov-Turin na ustupljenim posmatračkim podacima.

Literatura

- [1] Berkhuijsen E. M. 1973. *Astron. Astrophys.* 24: 143
- [2] Haslam C.G.T. et al. 1974. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 13: 359
- [3] Kereš D. 1994. Površinski sjaj Severnog polarnog luka. U *Petničke sveske* 38/I. Valjevo: ISP

- [4] Lawson K.D. et al. 1987. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc* 225: 307
- [5] Milogradov-Turin J., Smith, F.G. 1973. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc*, 161: 269
- [6] Milogradov-Turin J. 1982. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu
- [7] Milogradov-Turin J. 1994. privatna komunikacija
- [8] Milogradov-Turin J., Nikolić S. 1995. *Bull. Astron. Obs. Belgrade* 151: 7
- [9] Nikolić S. 1994. Magistarski rad. Univerzitet u Beogradu
- [10] Nikolić S. 1995. Privatna komunikacija
- [11] Reich W. 1982. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 48: 219
- [12] Reich P., Reich, W. 1986. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 63: 205
- [13] Rohlfs K. 1986. *Tools of Radio Astronomy*, Berlin-Heilderberg: Springer-Verlag.

Dušan Kereš

Surface Brightness for Loop I and Loop II

Surface brightness normalized on 1 GHz for Loop I (North Polar Spur) and Loop II (radio spurs in Aquarius and Aries) is obtained. The results are in very good agreement with those perviously derived [1]. Small variations in surface brightness between different frequencies are noticed for both loops.

Prilozi

Tabela 1. Opseg galaktičkih latituda b i longituda l za područje NPS.

b [°]	l [°]	
	38 MHz	408 MHz
22	24 - 36	28 - 36
26	24 - 36	24 - 36
30	24 - 36	24 - 36
34	24 - 36	20 - 36
38	24 - 36	20 - 36
42	20 - 40	20 - 36
46	20 - 40	16 - 36
50	16 - 40	12 - 36
54	16 - 36	8 - 36
58	20 - 36	8 - 36
62	12 - 36	4 - 36
66	8 - 32	356 - 360, 0 - 32
70	4 - 28	328 - 360, 0 - 28
74	280 - 360, 0 - 36	288 - 360, 0 - 28

Tabela 2 a. Opseg galaktičkih latituda b i longituda l za luk u Vodoliji

b [°]	l [°]	
	408 MHz	38 MHz
-26	32 - 52	36 - 60
-30	32 - 60	40 - 60
-34	32 - 52	40 - 60
-38	32 - 52	44 - 56
-42	32 - 52	48 - 60
-46	32 - 56	48 - 56
-50	32 - 52	52
-54	36 - 52	

Tabela 2 b. Opseg galaktičkih latituda b i longituda l za luk u Ovnu.

b [°]	l [°]	
	38 MHz	408 MHz
-22	132 - 156	128 - 168
-26	128 - 160	128 - 168
-30	128 - 168	128 - 168
-34	136 - 168	136 - 168
-38	140 - 168	136 - 168
-42	140 - 168	132 - 168
-46	128 - 168	128 - 168
-50	128 - 168	128 - 168
-54	128 - 168	128 - 168

Tabela 3. Diferencijalni spektralni indeksi za luk u Ovnu na latitudama od -30° do -54° .

b [°]	f [MHz]		
	38/408	38/1420	408/1420
-30	2.2 ± 0.5	2.3 ± 0.3	2.5 ± 0.2
-34	2.4 ± 0.2	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.3
-38	2.5 ± 0.4	2.6 ± 0.3	2.8 ± 0.3
-42	2.5 ± 0.3	2.7 ± 0.1	2.8 ± 0.4
-46	2.4 ± 0.2	2.5 ± 0.1	2.5 ± 0.4
-50	2.5 ± 0.3	2.6 ± 0.1	2.4 ± 0.5
-54	2.6 ± 0.3	2.5 ± 0.2	2.4 ± 0.4

Tabela 4 a. Srednja temperatura po sjaju na 1 GHz-u, diferencijalni spektralni indeksi, i površinski sjaj luka u Vodoliji.

f [MHz]	$T_{b1\text{GHz}}$ [K]	$\Delta \alpha_t$	$\Sigma_{1\text{GHz}}$ [$10^{-22} \text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1} \text{sr}^{-1}$]
38	0.6 ± 0.3	2.65 ± 0.05	1.8 ± 0.8
408	0.6 ± 0.1	2.85 ± 0.09	1.7 ± 0.4

Tabela 4 b: Srednja temperatura po sjaju na 1 GHz-u, diferencijalni spektralni indeksi, i površinski sjaj luka u Ovnu.

f [MHz]	$T_{b1\text{GHz}}$ [K]	$\Delta \alpha_t$	$\Sigma_{1\text{GHz}}$ [$10^{-22} \text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1} \text{sr}^{-1}$]
38	0.9 ± 0.4	2.49 ± 0.08	3 ± 1
408	0.8 ± 0.2	2.6 ± 0.1	2.5 ± 0.6
1420	0.7 ± 0.1	2.7 ± 0.2	2.3 ± 0.4

