

UNIVERZITET U BEOGRADU
Prirodno-matematički fakultet

ОСНОВНА ОРГАНИЗАЦИЈА УДРУЖЕНОГ РАДА
ЗА МАТЕМАТИКУ, МЕХАНИКУ И АСТРОНОМИЈУ
БИБЛИОТЕКА

Број: докт. 8/1
Датум: 17. 6. 1983

Jelena Milogradov-Turin

PREGLED NEBA NA 38 MHz I GALAKTIČKI SPEKTRALNI INDEKS

Doktorska disertacija

Август, 1982.

Beograd

Б р о ј: _____

Д а т у м: _____

P R E D G O V O R

Ova doktorska teza je rađena pod rukovodstvom profesora Mančesterskog Univerziteta, akademika, a sada i direktora Nuffield Radio Astronomy Laboratories of the University of Manchester u Džodrel Benku (Jodrell Bank), Dr F.G.Smitha.

Posmatrački deo teze uradio je autor za vreme svoje specijalizacije u Džodrel Benku 1966/67, na velikom radio-teleskopu prečnika 76 m, zvanom Mark I. U samim posmatranjima i kalibraciji dela instrumenata pomogli su mu članovi radio-astronomske grupe Prof. F.G.Smith, Dr P.K.Wraith and T.N. Bowden, na čemu im je autor zahvalan.

Ovaj posmatrački materijal je poslužio autoru kao osnova za analizu. Ona je napisala i većinu programa sem onih koji su izričito navedeni u tekstu. Računsku obradu je autor izveo delom na Mančesterskom univerzitetu, a delom na računaru Matematičkog instituta u Beogradu. Sem toga deo računa u kasnijim fazama rada je rađen i na Univerzitetu u Kembridžu, za šta autor duguje zahvalnost Dr A.S.Websteru i P.Warneru. Na Mančesterskom univerzitetu autor je koristio programe Dr C.G.T.Haslama, Dr C.J.Saltera i u jednoj prilici program Dr J.Cohena, za šta im je zahvalan.

Podatke na 408 MHz i 10 MHz je autoru teze stavio na raspolaganje podesno obrađene Dr C.G.T.Haslam sa Max-Planck-Institut für Radioastronomie. Neobjavljene podatke na 38 MHz je autoru dozvolio da koristi Dr J.E.Baldwin sa Univerziteta u Kembridžu. Autor teze im i ovom prilikom iskazuje duboku zahvalnost.

Autor se oseća dužnim da kaže da su svi inostrani astronomi kojima se obraćao veoma ljubazno i brzo odgovarali, pri čemu u prvom redu treba pomenuti Dr J.E.Baldwina, Dr E.M. Berkhuijsenovu, Dr T.N.Landeckera, Dr C.R.Purtona, Dr R.G. Binghamu i Dr H.Schwenteka.

Najviše autor duguje Dr C.J.Salteru. Njegova pomoć, podrška i saveti bili su autoru ove teze velika potpora. Ohrabrenje koje su autoru pružili tokom niza godina prof. F.G.Smith i Dr C.J.Salter pomoglo mu je da istraje u ovom pionirskom poslu.

Rad na interpretaciji spektralnih indeksa i na modelima autor je uradio na Institutu za astronomiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Beogradu, OOUR za matematiku, mehaniku i astronomiju, gde je i bio zaposlen tokom rada na ovoj tezi.

Profesor Dr M.Vukićević-Karabin sa Instituta za astronomiju PMF u Beogradu uticala je da autor posveti veliku pažnju jonosferskoj apsorpciji.

Autor duguje zahvalnost Profesoru Dr Sir Bernardu Lovellu doskorašnjem direktoru Nuffield Radio Astronomy Laboratories Univerziteta u Mančestru i Džodrel Benku za dozvolu da radi u toj ustanovi. Isto tako autor duguje zahvalnost Profesoru Dr A.Hewishu direktoru Mullard Radio Astronomy Observatory Cavendish Laboratorije Univerziteta u Kejmbridžu za dozvolu za dvomesečni rad u toj ustanovi. Finansijsku pomoć je u Mančestru dao Mančestarski univerzitet, a stipendiju za Kejmbridž autor je dobio od Britanskog saveta na preporuku Dr A.S.Webstera, za šta im je autor zahvalan.

Deo posmatračkog materijala ove teze korišćen je u autorovoj magistarskoj tezi podnetoj Mačestarskom univerzitetu 1972. Rezultati te magistarske teze se navode u ovoj doktorskoj tezi ali čine samo njen mali deo. U ovoj doktorskoj tezi se koristi mnogo više materijala, kako autora teze, tako i drugih autora, i razmatraju najvećim delom problemi koji u magistarskoj tezi nisu obrađivani. Srž ove doktorske teze čine spektralni indeksi koji nisu uključivani u magistarsku tezu.

Posmatrački materijal na 38 MHz koji je osnova ove teze autor je prikazao na Kongresu Međunarodne astronomske unije u Brajtonu 1970, a raspodelu spektralnih indeksa je prikazao na Kongresu Međunarodne astronomske unije u Grenoblu 1976. Preliminarni rezultati raspodele iznošeni su na Kongresu Saveza društava matematičara, fizičara i astronoma u Novom Sadu 1975. Raspodela indeksa u galaktičkoj ravni je prikazana na Kongresu Evropskih astronoma u Trstu 1974. Sa radovima koji čine deo ove teze autor je učestvovao i na Kongresu SDMFA 1980. u Bečićima i nacionalnim kongresima jugoslovenskih astronoma u Beogradu 1977. i Sarajevu 1979.

Autor je iz ove doktorske teze objavio do sada osam radova (Milogradov-Turin 1970, 1971, 1972a, 1974, 1981, 1972b, Milogradov-Turin and Smith 1973, Milogradov-Turin and Minković 1979), od čega su tri u inostranim časopisima. U štampi su još tri rada (Milogradov-Turin 1982a, 1982b, 1982c), a predviđa se po podnošenju teze objavljivanje još četiri rada. Veći deo tih radova je bio finansiran od strane SIZ nauke SR Srbije.

Autor se na kraju još jednom zahvaljuje svima onima ko su verovali u njega i koji su mu pomogli da ovaj rad privede kraju. Oni će se prepoznati kada budu čitali ovaj predgovor.

S A D R Ź A J

| | |
|--|-----|
| Fredgovor | III |
| GLAVA I U V O D | |
| 1.1. Svrha izloženog istraživanja | 1 |
| 1.1.1. Svrha pregleda kosmičkog radio-zračenja i pregleda spektralnih indeksa | 1 |
| 1.1.2. Svrha istraživanja radio-zračenja na 38 MHz sa razdvojnomoći oko 8° | 3 |
| 1.2. Prethodni pregledi neba blizu 38 MHz | 5 |
| 1.2.1. Pregledi južne nebeske polulopte | 5 |
| 1.2.2. Pregledi severne nebeske polulopte | 6 |
| 1.3. Prethodni pregledi ukupnog spektralnog indeksa | 7 |
| 1.4. Prethodni radovi na određivanju diferencijalnih spektralnih indeksa nebeskih tela | 9 |
| 1.5. Cilj podnete teze | 10 |
| GLAVA 2 U R E Đ A J I | |
| 2.1. Antenski sistem i njegov dijagram usmerenosti | 13 |
| 2.1.1. Antenski sistem | 13 |
| 2.1.2. Dijagram usmerenosti snage zračenja | 17 |
| 2.2. Prijemni sistem | 24 |
| 2.2.1. Prijemnik | 24 |
| 2.2.2. Teorija prijemnog sistema | 27 |
| 2.2.3. Stabilnost pojačanja | 30 |
| 2.2.4. Osetljivost | 30 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.2.5. | Delovi prijemnika | 32 |
| 2.2.6. | Odnos signala i šuma | 38 |
| 2.3. | Kalibracija sistema | 39 |
| GLAVA 3 | N A Č I N I O B R A D A P O S M A T R A N J A | 45 |
| 3.1. | Način posmatranja | 45 |
| 3.1.1. | Osnovni problemi i zahtevi | 46 |
| 3.1.2. | Posmatrački program | 46 |
| 3.1.3. | Posmatranja | 48 |
| 3.1.4. | Smetnje | 49 |
| 3.2. | Obrada posmatranja | 50 |
| 3.2.1. | Analiza zapisa | 50 |
| 3.2.2. | Izračunavanje osnovne matrice antenskih temperatura | 54 |
| 3.2.2.1. | Izračunavanje ravnotežne struje šuma | 54 |
| 3.2.2.2. | Izračunavanje antenskih temperatura | 55 |
| 3.2.2.3. | Izračunavanje matrice antenskih temperatura | 59 |
| 3.2.3. | Karte antenskih temperatura | 68 |
| 3.2.3.1. | Izrada karata antenskih temperatura | 68 |
| 3.2.3.2. | Slučajne greške antenskih temperatura | 72 |
| 3.2.4. | Jonosferska apsorpcija | 74 |
| 3.2.4.1. | Prilaz problemu | 74 |
| 3.2.4.2. | Izračunavanje apsorpcije na 38 MHz | 76 |
| 3.2.4.3. | Uticaaj dijagrama antene na merenu vrednost apsorpcije | 83 |

| | | |
|------------------------|--|-----|
| 3.2.4.4. | Diskusija metode izračunavanja apsorpcije | 90 |
| 3.2.4.5. | Izračunavanje matrice antenskih temperatura ispravljene za apsorpciju i prateće efekte | 91 |
| 3.2.4.6. | Greške uzrokovane obračunavanjem apsorpcije | 96 |
| 3.2.4.7. | Odbijanje od tla i jonosferska apsorpcija | 98 |
| 3.2.4.8. | Uticaaj bočnih listova | 103 |
| 3.2.4.9. | Jonosferska refrakcija | 107 |
| 3.2.5. | Izrada karte antenskih temperatura ispravljenih za apsorpciju | 112 |
| GLAVA 4 NEBO NA 38 MHz | | |
| 4.1. | Uvod | 114 |
| 4.1.1. | Nebo na metarskim talasima | 114 |
| 4.1.2. | Osnovne osobine karte neba razdvojne moći $7^{\circ},7$ na 38 MHz | 115 |
| 4.2. | Radio-izvori | 120 |
| 4.2.1. | Pojedinačni radio-izvori | 120 |
| 4.2.2. | Određivanje gustine fluksa radio-izvora Cyg A | 121 |
| 4.3. | Osobine i struktura radio-zračenja na niskim galaktičkim latitudama | 124 |
| 4.3.1. | Opšte osobine radio-zračenja oko galaktičke ravni | 124 |
| 4.3.2. | Latitudni presek | 126 |
| 4.3.3. | Longitudni presek | 127 |
| 4.3.4. | Upadljiva oblast zračenja oko $l \approx 20^{\circ}$, $b \approx 0^{\circ}$ | 136 |
| 4.3.5. | Anticentar | 147 |

| | |
|--|------------|
| 4.4. Struktura radio-zračenja na visokim galaktičkim latitudama | 148 |
| 4.4.1. Osnovni činioci | 148 |
| 4.4.2. Zračenje lukova | 151 |
| 4.4.2.1. Uvod | 151 |
| 4.4.2.1.1. Severni Polarni Luk | 151 |
| 4.4.2.1.1.1. Istraživanje moguće zavisnosti položaja grebena Severnog Polarnog Luka od učestanosti | 159 |
| 4.4.2.1.2. Luk Kita | 162 |
| 4.4.2.1.3. Lukovi u Per i Lac | 163 |
| 4.4.2.1.4. Lukovi u Peg, Psc, Tau | 165 |
| 4.4.2.1.5. Lukovi u Cnc i Leo | 167 |
| 4.4.2.2. Oblik petlji | 168 |
| 4.4.2.2.1. Uvod | 168 |
| 4.4.2.2.2. Postupak obrade | 169 |
| 4.4.2.2.3. Petlja I | 17 |
| 4.4.2.2.3.1. Petlja I na 38 MHz | 171 |
| 4.4.2.2.4. Petlja II | 172 |
| 4.4.2.2.5. Petlja III | 178 |
| 4.4.2.2.6. Moguće nove petlje | 178 |
| GLAVA 5 UKUPNI SPEKTRALNI INDEKSI | 194 |
| 5.1. Uvod | 194 |
| 5.2. Doprinos bočnih listova | 195 |
| 5.3. Uticaj polarizacije na izvedene spektralne indekse | 197 |
| 5.4. Karte spektralnih indeksa | 198 |

| | |
|---|-----|
| 5.4.1. Karta spektralnih indeksa između 38 MHz i 404 MHz | 198 |
| 5.4.2. Karta spektralnih indeksa između 38 MHz i 408 MHz | 205 |
| 5.5. Astrofizičke karakteristike raspodele spektralnih indeksa između 38 MHz i 404 (408) MHz | 213 |
| 5.5.1. Osnovne karakteristike | 213 |
| 5.5.2. Karakteristike oblasti galaktičkog središta | 214 |
| 5.5.2.1. Oblast niskih latituda | 215 |
| 5.5.2.2. Oblast negativnih visokih latituda | 216 |
| 5.5.2.3. Oblast pozitivnih visokih latituda | 217 |
| 5.5.3. Karakteristike oblasti galaktičkog anticentra | 219 |
| 5.5.4. Oblast ekvatorijalne polarne kape | 227 |
| 5.5.5. Ukupni spektralni indoksi hladnih severnih rupa, severnog galaktičkog pola i severnog ekvatorskog pola | 228 |
| 5.5.6. Poređenje rezultata sa prethodnim istraživanjima raspodele spektral- nih indeksa i njihova analiza | 230 |
| 5.5.6.1. Uvod | 230 |
| 5.5.6.2. Poređenje sa prvim radovi- ma o spektralnim indeksima | 231 |
| 5.5.6.3. Kritička analiza rada Mertla sa saradnicima (1962) | 231 |
| 5.5.6.4. Poređenje sa radom Morana (Moran 1964) | 234 |
| 5.5.6.5. Poređenje sa radom Brajdla (Bridle 1967b) | 236 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 5.5.6.6. | Poređenje sa rezultatima Sironija i Vebstera | 240 |
| 5.5.6.7. | Poređenje sa radom Getmanceva i dr. (1968) | 243 |
| 5.5.6.8. | Poređenje sa radom Landekera | 244 |
| 5.5.6.9. | Poređenje sa radom Vilsona (Wilson, 1975) | 246 |
| 5.5.6.10. | Poređenje sa radom Vinjajkina (1978) | 248 |
| 5.6. | Mogućnosti tumačenja raspodele ukupnih spektralnih indeksa | 249 |
| 5.6.1. | Prilaz problemu raspodele indeksa | 249 |
| 5.6.1.1. | Ideje prethodnika | 250 |
| 5.6.1.2. | Polazni stavovi | 251 |
| 5.6.2. | Model haloa sa superponiranim diskom i petljama (halo-disk-petlje) | 252 |
| 5.6.2.1. | Osnovne osobine modela halo-disk-petlje | 252 |
| 5.6.2.2. | Mogućnost interpretacije oblasti grebena Petlje I i unutar Petlje I | 253 |
| 5.6.2.3. | Mogućnost interpretacije oblasti visokog indeksa | 257 |
| 5.6.2.3.1. | Uvod | 257 |
| 5.6.2.3.2. | Primena Vebsterovog metoda eliminacije diska na 38 MHz i 408 MHz | 261 |
| 5.6.2.3.3. | Parametri modela haloa izračunatog iz raspodele Vebsterovog parametra | 268 |
| 5.6.2.3.4. | Diskusija podešenih modela haloa | 276 |
| 5.6.2.3.5. | Zaključak o modelu halo-disk-petlje | 286 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5.6.3. | Analiza Brajdlovog modela (Bridle 1967b) | 287 |
| 5.6.4. | Model petlji | 288 |
| 5.6.4.1. | Osnovna ideja modela | 288 |
| 5.6.4.2. | Analiza modela | 288 |
| 5.6.5. | Model sinhrotronskog zračenja u lokalnom magnetnom polju | 292 |
| 5.6.5.1. | Osnovna ideja modela | 292 |
| 5.6.5.2. | Teorijski prilaz problemu | 293 |
| 5.6.5.3. | Analiza hipoteze kroz posmatračke podatke | 298 |
| 5.6.6. | Zaključci o mogućnostima tumačenja raspodele spektralnih indeksa | 301 |
| 5.6.6.1. | Opšti zaključci o modelima | 301 |
| 5.6.6.2. | Analiza realnosti ključnih oblasti | 302 |
| 5.6.6.3. | Osvrt na značajnije radove o halou | 307 |
| GLAVA 6 | D I F E R E N C I J A L N I S P E K T R A L N I I N D E K S I | 310 |
| 6.1. | Uvod | 310 |
| 6.1.1. | Analitički i vektorski prilaz | 310 |
| 6.1.2. | Veza između oblika T-T grafika i odgovarajućih preseka objekta | 314 |
| 6.2. | Diferencijalni spektralni indeksi zasnovani na pregledu na 38 MHz | 317 |
| 6.2.1. | Polazni stavovi | 317 |
| 6.2.2. | Diferencijalni spektralni spektralni indeks Severnog Polarnog Luka između 38 MHz i 408 MHz | 318 |
| 6.2.3. | Diferencijalni spektralni indeks Severnog Polarnog Luka između 38 MHz i 10 MHz | 321 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 6.2.4. | Ispitivanje latitudne zavisnosti diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka | 324 |
| 6.2.5. | Spektralni indeksi drugih lukova | 327 |
| 6.2.5.1. | Osnovni stavovi | 327 |
| 6.2.5.2. | Petlja II (Luk Kita) | 328 |
| 6.2.5.3. | Luk u Pegazu ($l = 85^\circ$) | 332 |
| 6.2.5.4. | Luk u Biku ($l = 185^\circ$) | 333 |
| 6.2.5.5. | Petlja III | 334 |
| 6.2.5.6. | Luk u Lavu | 337 |
| 6.2.6. | Galaktički diferencijalni spektralni indeks | 338 |
| 6.2.7. | Greške diferencijalnih spektralnih indeksa | 340 |
| 6.3. | Interpretacija petlji T-T dijagrama | 342 |
| 6.3.1. | Uvod | 342 |
| 6.3.2. | Prethodna istraživanja | 342 |
| 6.3.3. | Četvorovektorni model T-T grafika | 343 |
| 6.3.4. | Petovektorni model T-T grafika | 353 |
| 6.3.5. | Uzroci osobenosti T-T grafika iz ove teze i mogućnosti interpretacije petlji T-T dijagrama | 354 |
| 6.4. | Spektar Severnog Polarnog Luka | 360 |
| 6.4.1. | Uvod | 360 |
| 6.4.2. | Kratak pregled prethodnih istraživanja | 363 |
| 6.4.3. | Reanaliza spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka između 17,5 MHz i 81,5 MHz | 364 |
| 6.4.4. | Reanaliza spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka između 10 MHz i 178 MHz | 370 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 6.4.5. | Reanaliza Bingamovog rezultata | 373 |
| 6.4.6. | Reanaliza diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka između 820 MHz i 420 MHz | 375 |
| 6.4.7. | Diskusija ostalih spektralnih indeksa Severnog Polarnog Luka | 376 |
| 6.4.7.1. | Uvod | 376 |
| 6.4.7.2. | Diskusija Gidičijevog rada | 376 |
| 6.4.7.3. | Diskusija Puovog rada | 377 |
| 6.4.7.4. | Diskusija rada Holdenove | 379 |
| 6.4.7.5. | Diskusija Baldvinovog saopštenja | 379 |
| 6.4.7.6. | Diskusija Landekerovog rada | 379 |
| 6.4.7.6. | Diskusija Dejvisovih rezultata | 381 |
| 6.4.7.8. | Diskusija Vilsonovog rezultata | 382 |
| 6.4.7.9. | Diskusija Brajdlovog saopštenja o spektru Severnog Polarnog Luka na visokim učestanostima | 383 |
| 6.4.7.10. | Diskusija Vebsterovog rezultata | 383 |
| 6.4.8. | Sintetički spektar Severnog Polarnog Luka | 386 |
| 6.4.9. | Astrofizičke implikacije izvedenog oblika spektra Severnog Polarnog Luka | 388 |
| GLAVA 7 | TOPLOTNA I NETOPLOTNA KOMPONENTA NA 38 MHz | 402 |
| 7.1. | Razdvajanje toplotne i netoplotne komponente zračenja na 38 MHz u unutrašnjim oblastima Galaksije ($4^\circ < l < 65^\circ$) | 402 |

| | |
|--|-----|
| 7.1.1. Uvod | 40 |
| 7.1.2. Analiza | 40 |
| 7.1.3. Diskusija | 41 |
| 7.1.4. Netoplotna emisivnost | 41 |
| 7.1.5. Mera emisije i gustina elektrona | 41 |
| 7.2. Cyg X na 38 MHz | 41 |
| 7.2.1. Uvod | 41 |
| 7.2.2. Karta Cyg X razdvojne moći $7^{\circ},7$ ($7^{\circ} 1/4$ x $8^{\circ} 1/4$) | 42 |
| 7.2.3. Spektralni indeksi Cyg X oblasti između 38 MHz i 408 MHz | 42 |
| 7.2.4. Toplotna i netoplotna komponenta i optička dubina u oblasti Cyg X | 42 |
| 7.2.5. Netoplotna emisivnost u oblasti Cyg X | 428 |
| 7.2.6. Gustina elektrona u oblasti Cyg X | 429 |

GLAVA 8 Z A K L J U Č C I

| | |
|---|-----|
| 8.1. Najvažniji originalni doprinosi ove teze | 431 |
| 8.2. Opšti zaključak o zračenju na 38 MHz | 432 |
| 8.3. Opšti zaključak o spektralnim indeksima | 433 |
| 8.4. Opšti zaključak o geometriji lukova | 434 |
| 8.5. Predlozi za dalje istraživanje | 434 |

PRILOG I ISPITIVANJE GEOMETRIJE PETLJE I IZ POSMATRANJA VISOKE RAZDVOJNE MOĆI

| | |
|---|-----|
| P.1.1. Uvod | 436 |
| P.1.2. Izračunavanje malog kruga Petlje I | 436 |
| P.1.3. Analiza novih alternativa Petlje I | 450 |

REFERENCE

459

G l a v a 1.

U V O D

1.1. SVRHA IZLOŽENOG ISTRAŽIVANJA

1.1.1. Svrha pregleda kosmičkog radio-zračenja i pregleda spektralnih indeksa

Pregled neba je osnovni oblik istraživanja zračenja. On daje informaciju o tome šta se u datom trenutku i na datoj učestanosti može zapaziti na nebu. Medjutim, za razumevanje fizičke prirode zračenja potrebno je znati kako se zračenje posmatranog objekta menja sa učestanošću. Zbog toga je neophodno napraviti što više pregleda na svim učestanostima koje su prema konvenciji IEEE ostale slobodne za radio-astronomiju. S obzirom na stupanj tehničkog razvoja prvo su pravljene pregledi na onim učestanostima gde je to bilo lakše učiniti. Tako su kratkotalasni kraj radio-spektra i dugotalasni kraj uglavnom ostali u prvom naletu neispitani. Prvi zbog toga što je kosmičko zračenje na veoma kratkim talasima srazmerno slabn, pa su uticaji sa strane veoma veliki a pojačavači tog opsega nisu bili dovoljno razradjeni. Drugi

zbog toga što su industrijske smetnje na dugim talasima velike i što je razdvojna moć instrumenata u tom području bila mala. Tek izgradnjom novih uređaja počeli su svi delovi radio-spektra da se koriste za preglede neba.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da kosmičko radio-zračenje može u velikom području učestanosti da se opiše vezom

$$T \propto f^{-\beta}$$

gde je T temperatura koju bi imalo crno telo kada bi zračilo posmatranu gustinu fluksa, f frekvencija (učestanost) a β takzvani spektralni indeks. Veličina β u principu nije konstanta mada u posmatranom opsegu učestanosti to može biti. U zavisnosti koji se objekat posmatra i u kom rasponu učestanosti, β može biti različito.

Iz posmatranja na dve razne učestanosti obavljenih instrumentom iste razdvojne moći spektralni indeks se može direktno dobiti

$$\beta = - \left(\log \frac{T_1}{T_2} \right) / \log \left(\frac{f_1}{f_2} \right)$$

On karakteriše promenu temperature pri prelazu sa učestanosti f_1 na učestanost f_2 .

Iako je očevidno da se raspodela spektralnih indeksa na nebu može dobiti ako se uzmu dva pregleda neba iste razvojne moći, takvih radova, i to nepotpunih, je bilo malo. Razlog tome je što je to tehnički složen a za obradu podataka običan posao.

1.1.2. Svrha istraživanja radio-zračenja na 38 MHz sa razdvojnomoći oko 8° .

Pregledi dugotalasnog radio-zračenja Galaksije su se do sada pravili ili sa instrumentima veoma male razdvojne moći, u proseku od oko 30° , sa namerom da posluže za određivanje tačnih vrednosti spektralnih indeksa, ili sa instrumentima veoma velike razdvojne moći, u proseku od oko 1° , sa namerom da se izučavaju nebeski objekti malih ugaonih razmera i da se popišu nebeski radio-izvori. Prva vrsta pregleda obično se pravila pomoću dipola, dok su za drugu vrstu pregleda korišćeni tzv. radio-teleskopi nepotpunih otvora ili radio-teleskopi sintetizovanih otvora.

Najznačajniji radovi prve vrste su rad Pertona (Purton 1966), Brajdla (Bridle 1967), Sironija (Sironi 1974), i Vebstera (Webster 1974), dok je tipičan primer pregleda druge vrste rad Vilijemsa i dr. (Williams et al. 1966).

Pregledi velike razdvojne moći najčešće nisu pouzdani za izučavanje objekata velikih ugaonih razmera kao što su, na primer, radio-petlje ili Mlečni Put, kao i ni za određivanje spektralnih indeksa tih tela.

Pregledi male razdvojne moći daju veoma izgledjenu sliku neba i zbog toga mogu da se koriste samo za izučavanje oblasti koje nemaju preterano složenu gradju kao što su na primer galaktičke polarne kape.

Pregledi neba male razdvojne moći se znatno lakše kalibrišu nego pregledi velike razdvojne moći, pa su stoga spektralni indeksi iz njih izvedeni mnogo pouzdaniji.

Pregled neba na 38 MHz izložen u ovoj tezi je načinjen pomoću radio-teleskopa Mark-I u Džodrel Benku (Jodrell Bank, U.K.). Taj teleskop je imao pokretni parabolički reflektor čija je 3-db širina glavnog snopa na 38 MHz bila oko 8° a bočni snopovi bili mali. Radio-teleskop tih osobina je bio stoga podesan za izučavanje objekata većih ugaonih razmera i za nalaženje spektralnih indeksa iz poredjenja ovog pregleda sa sličnima na drugim učestanostima.

Na odluku da se sa tim radio-teleskopom načini pregled neba na 38 MHz veoma je uticala okolnost da je 1962. godine u Kembridžu (U.K.) napravljen odličan pregled neba na 404 MHz sa radio-teleskopom veoma sličnih osobina (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962). Poredjenje merenja na 38 MHz izloženih u ovoj tezi i merenja na 404 MHz se stoga može skoro direktno učiniti. Najveća prednost je što spektralni indeksi neće biti opterećeni velikim greškama koje prate rezultate izvedene iz pregleda dobijenih pomoću teleskopa bitno različitih osobina. Od velikog značaja je i činjenica da se učestanost od 404 MHz razlikuje od 38 MHz za faktor 10, približno, što dozvoljava veću toleranciju u tačnosti merenja budući da je raspon veliki.

Pošto je pregled na 404 MHz načinjen sa manjim brojem uzoraka no što teorija zahteva, potrebno je izvršiti sravnjivanje i sa pregledom neba na 408 MHz (Haslam et al. 1974) konvoluiranim na razdvojnu moć od 8° . Sve to je u ovoj tezi učinjeno. Prvo su obradjena i proučena posmatranja objekata većih ugaonih razmera posmatranih na 38 MHz sa teleskopom Mark I, zatim je napravljen pregled ukupnog spektralnog indeksa izvedenog iz pregleda neba na 38 MHz, 404 MHz, i 408 MHz.

i izučeni diferencijalni spektralni indeksi objekata većih uglovnih razmera izvedeni iz pomenutih pregleda.

Da bi se jasnije videlo mesto i svrha ove teze u uvodnom delu (1.2., 1.3. i 1.4.) dat je kratak pregled dosadašnjih radova na sličnim istraživanjima. Rezultati autora teze tu nisu izneti.

1.2. Prethodni pregledi neba blizu 38 MHz

Prethodni pregledi ne pokrivaju celo nebo na bilo kojoj učestanosti blizu 38 MHz. Pojas između 0° i 15° deklinacije uopšte do sada nije posmatran blizu 38 MHz, a postoje i manje praznine na drugim deklinacijama.

1.2.1. Pregledi južne nebeske polulopte

Jedini pregled načinjen u opsegu učestanosti koji razmatramo jeste pregled na 38 MHz koga su radili Metjusun i dr. (Mathewson et al. 1965) sa teleskopom prečnika oko 69 m u Parksu (Parkes).

Njihova antena je primala cirkularno polarizovano zračenje leve orijentacije u odnosu na pravac prostiranja. Glavni snop je bio kružan i imao oko 11° širok 3-db otvor dijagrama zračenja. Temperature neba bile su podešene prema temperaturi najhladnijeg dela neba koga su posmatrali. To je deo na

rektascenciji $4^{\text{h}}20^{\text{m}}$ i deklinaciji -25° . Vilebinski (Wielebinsky) je procenio apsolutnu temperaturu po sjaju tog dela neba na $14800 \text{ K} \pm 1000 \text{ K}$.

Pregled neba na 30 MHz je prikazan u vidu karte izofota. On ne ide severnije od nebeskog ekvatora. Zbog toga samo mali deo tog pregleda može da se uporedi sa pregledom radjenim na severnoj Zemljinoj polulopti.

1.2.2. Pregledi severne nebeske polulopte

Ima nekoliko pregleda severnog neba načinjenih na 38 MHz. Svi su oni izradjeni u Kembridžu (U.K.), koristeći metodu sinteze. To su, redom, pregledi Blajta (Blythe 1957), Kostejna i Smita (Costain and Smith 1960), Kenderdajna (Kenderdine 1963) i Vilijemsa, Kenderdajna i Boldvina (Williams, Kenderdine and Baldwin 1966).

Najpotpuniji i najtačniji od svih njih je pregled Vilijemsa i dr., za koji je korišćen najusavršeniji radio-teleskop snopa tipa olovke koji je ikada bio napravljen za 38 MHz. Furijeove komponente ugaone raspodele temperature su merene tako da je svaka izabrana ugaona frekvenca merena posebno. Konačna karta je načinjena sintezom merenih komponentata u računaru. Sama konstrukcija upotrebljenog radio-teleskopa nije dozvoljavala da se komponente niskih učestanosti odrede tako tačno kako su odredjene komponente visokih ugaonih učestanosti. Zbog toga su opšta pozadina i objekti većih ugaonih

dimenzija određeni manje dobro nego što je to poželjno.

Sintetizovani snop je između tačaka gde primljena snaga pada na polovinu bio širok 45' po rektascenziji. Po deklinaciji širina je varirala oko te vrednosti.

Pregled neba koga su načinili Viliijems i dr. se sastoji od

a) karte izofota za $+15^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$

b) spiska radio izvora i njihove gustine fluksa zračenja u oblasti $-10^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$.

Izofote nisu nacrtane u onim oblastima gde su posmatranja bila nepouzdana zbog prisustva jakih radio-izvora kao što su: Cassiopeia A, Cygnus A, Hercules A, Taurus A i sl. Zbog njihovog uticaja ukupno 7 časova rektascenzije nije pokriveno na karti.

Skala temperatura i gustina fluksa je kalibrisana sa tačnošću za koju se veruje da iznosi 10%.

1.3. Prethodni pregledi ukupnog spektralnog indeksa zračenja neba

Do sada nije bilo objavljenih u naučnim časopisima pregleda spektralnog indeksa bilo celog severnog bilo celog južnog neba. Rad Brajdla (Bridle 1967) jedini daje mapu spektralnih indeksa ali samo u oblasti $15^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$. On je izveo ukupne temperaturske spektralne indekse β , /definisane vezom $(T_1/T_2) = (f_1/f_2)^{-\beta}$ / za temperature izmerene na 17,5 i 81,5 MHz. Širina snopa na polovini snage je bila 17° po de-

klinaciji a 12° po rektascenziji. Zbog tako male razdvojne moći Brajdl nije merio Mlečni Put za manje vrednosti galaktičkih longituda.

Sem njega mapu temperaturskih spektralnih indeksa je izveo iz svojih posmatranja i Landeker (Landecker 1969) u svojoj doktorskoj tezi odbranjenoj na Univerzitetu u Sidneju. On je obradio oblast gde je $-25^{\circ} \leq \delta \leq 25^{\circ}$. Učestanosti na kojima su temperature merene bile su 85 i 150 MHz. Efektivna razdvojna moć njegovog spektralnog pregleda bila je $3^{\circ},8$ po deklinaciji i $3^{\circ},5$ po rektascenziji.

Landeker nije objavio svoje rezultate jer je smatrao da su greške njegovih merenja tolike da čine rezultate nepouzdanim (Landecker 1974).

Svi drugi radovi koji su se odnosili na ukupni spektralni indeks obradjivali su samo manje delove neba.

Tako su Vesterhaut (Westerhout 1958), Lardž i dr. (Large et al. 1961), Komesarov (Komesaroff 1961), Metjuson i dr. (Mathewson et al. 1962) se ograničili samo na pojedine oblasti Mlečnog Puta. Oni su razdvajali termičku komponentu zračenja od netermičke, uzimajući da netermička komponenta ima konstantan spektar preko celog neba. Takav prilaz se može prihvatiti samo kao prva aproksimacija. Opseg učestanosti u kome su pomenuti autori radili bio je između 20 i 1440 MHz a razdvojna moć reda veličine stepena.

Veliki broj radova se odnosi na oblasti oko samih galaktičkih polova. Ta merenja su najčešće veoma male razdvojne moći (30°), jer je u najvećem broju slučajeva korišćen dipol kao antena. Merenja su obavljana kako sa Zemljine površine

tako i satelita, tako da je oblik spektra zračenja u oblasti galaktičkih polova poznat u ogromnom radio-području počev od oko 1 MHz pa do oko 30 000 MHz. Medju tim radovima su Reber i Elis (Reber and Ellis 1956), Korobkov (1964), Partasarati (Parthasarathy 1968), Aleksander i dr. (Alexander et al. 1970), Jets i Vilebinski (Yates and Wilebinski 1966), Howel (Howel 1970), Penzias i Vilson (Penzias and Wilson 1965), Robson i dr. (Robson et al. 1975).

Na osnovu obavljenih istraživanja vidi se da se spektralni indeks zračenja iz uske oblasti oko galaktičkog ekvatora razlikuje od spektralnog indeksa zračenja u oblastima daleko od galaktičkog ekvatora.

Radovi Brajdla (Bridle 1967) i Landekera (Landecker 1969) pokazuju da i unutar tih oblasti postoje varijacije ali podroban i potpun pregled zavisnosti totalnog spektralnog indeksa od koordinata i učestanosti posmatranja još uvek ne postoji.

1.4. Prethodni radovi na odredjivanju diferencijalnih spektralnih indeksa nebeskih tela

Prema definiciji samog diferencijalnog spektralnog indeksa β_d ($dT_1 / dT_2 = (f_1 / f_2)^{-\beta_d}$) on se može dobiti samo za objekte koji imaju srazmerno velike ugaone razmere i koji se jasno izdvajaju kao posebna celina iz opšteg zračenja. Taj uslov zadovoljavaju radio-petlje i Mlečni Put pa su stoga za njih i odredjivani diferencijalni spektralni indeksi.

I pored znatnog broja istraživanja, počev od pionirskog rada Tertla i dr. (Turtle et al. 1962) pa preko Lardža i dr. (Lar-ge et al. 1962), Pua (Pugh 1964), Dejvisa (Davis 1964), Per-tona (Purton 1966), Bingama (Bingham 1966), Brajdla (Bridle 1967), Landekera (Landecker 1969), Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971), Sironija (1974), Vebstera (Webster 1974) i Kasvela (Caswell 1976), nisu sve radio-petlje zadovoljavajuće ispita-ne u celom radio-području. Pogotovu se taj nedostatak oseća na učestanostima ispod 50 MHz. Sem toga razdvojna moć korišćenih radova je veoma različita što otežava ispitivanja. Opšti dosa-dašnji zaključak jeste da radio-petlje imaju drukčiji spektar no zračenje pozadine. Verodostojne zaključke o prirodi zrače-nja i nastanku radio-petlji sve do sada nije bilo moguće doneti

1.5. Cilj podnete teze

Cilj podnete teze jeste da popuni neke praznine prethod-nih istraživanja i doprinese razjašnjenju nekih od gore nave-đenih problema. Od velikog je značaja što posmatranja koja su osnova ove teze mogu:

- a) da daju pouzdaniju sliku objekata većih ugaonih di-menzija no prethodni pregledi blizu 38 MHz,
- b) da daju do sada nepoznatu sliku varijacija totalnog spektralnog indeksa na nebu i
- c) da daju diferencijalne spektralne indekse radio-pet-lji u veoma važnom području učestanosti.

Te tri osnovne činjenice su činile kostur rada.

Zanimljivi rezultati koji su tokom rada na ovim osnovnim pitanjima iskrsli povećali su vrednost ovog istraživanja.

Radi preglednosti teza je podeljena u 8 glava, od kojih su tri posvećene uređajima, kalibraciji, metodi posmatranja i metodi obrade, dok ostale izlažu rezultate istraživanja onim redom koji je gore naveden.

U osmoj glavi dati su zaključci.

U prilogu su dati rezultati u vezi sa geometrijom Petlje I koji su dobijeni ne koristeći materijal ove teze na 38 MHz.



Slika 1.

Radio-teleskop Mark I u Džodrel Benku.

G l a v a 2.

U R E D J A J I

2.1. Antenski sistem i njegov dijagram usmerenosti

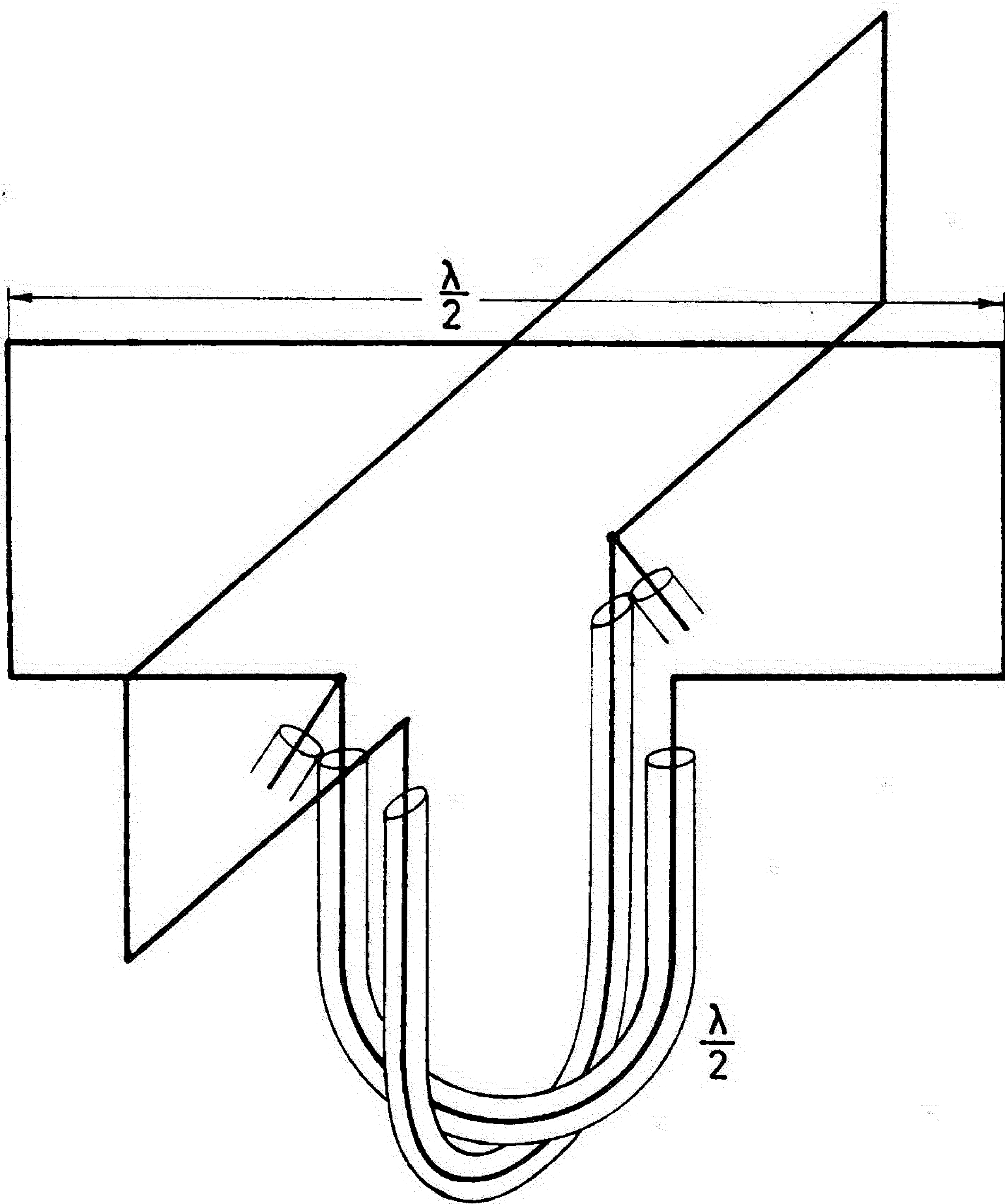
2.1.1. Antenski sistem

Antenski sistem korišćen u ovom radu sastojao se iz parabolickog reflektora Mark-I, para ukrštenih savijenih dipola smeštenih u fokus paraboloida, sekundarnog reflektora i odgovarajuće hibridne mreže.

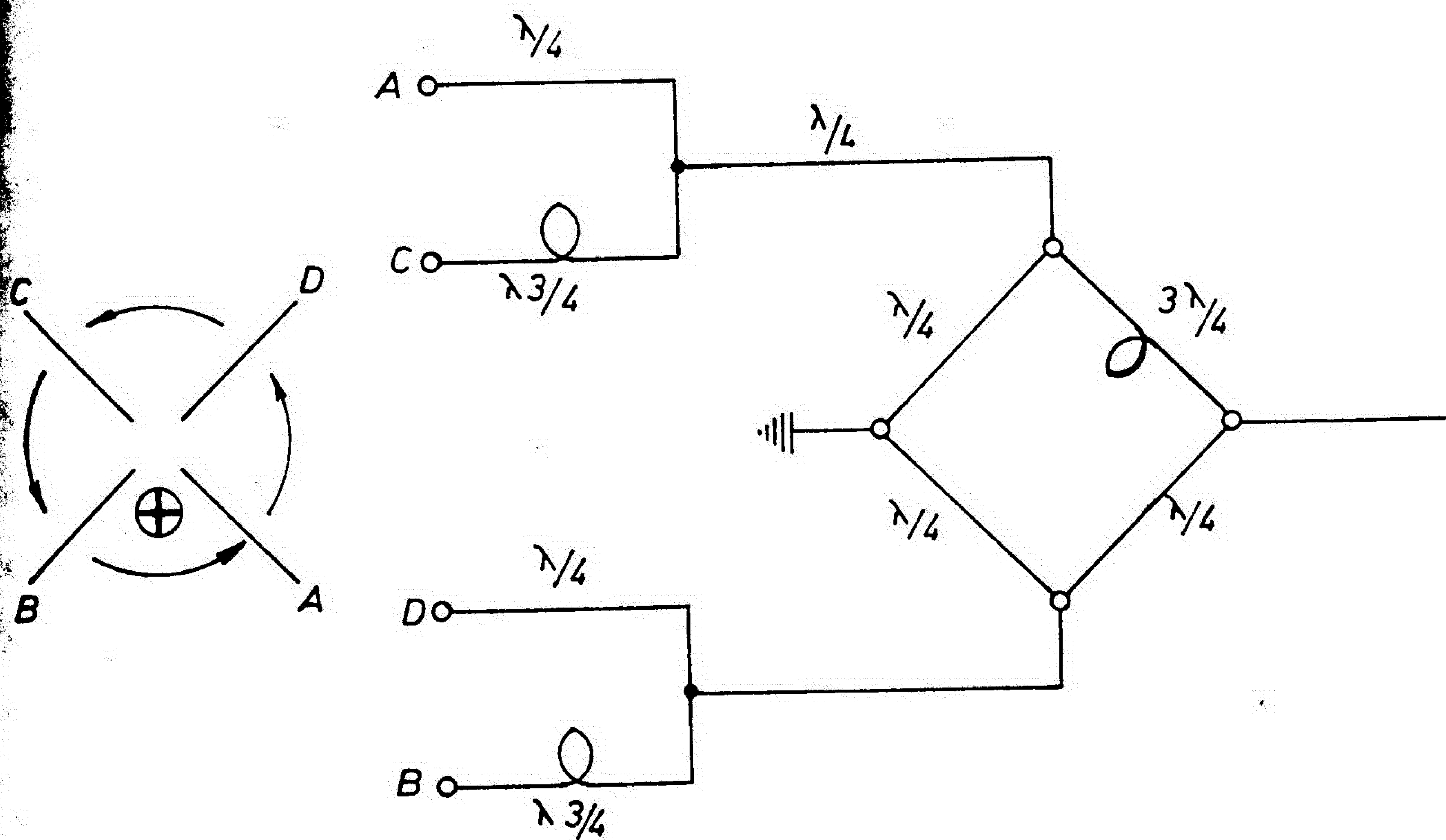
Mark-I je bio puni metalni parabolicki reflektor prečnika 76 m sa relativnim otvorom 1:4 (Sl. 1.). Ulogu sekundarnog reflektora je igralo dno fokalne kabine površine $4, m^2$ i četiri $\lambda/4$ - unipola koji su bili pričvršćeni za kabinu paralelno dipolima.

Svaki par ukrštenih savijenih dipola bio je povezan preko polutalasnog transformatora za simetrizaciju sa kablom da bi impedanca bila podešena (Sl. 2.).

Signal iz antene je išao kroz hibridnu mrežu (Sl. 3.) koja je na izlazu davala samo levu cirkularnu komponentu kosmičkog zračenja. Smer orijentacije usvojen u ovom radu je prema konvenciji IRE (1942).

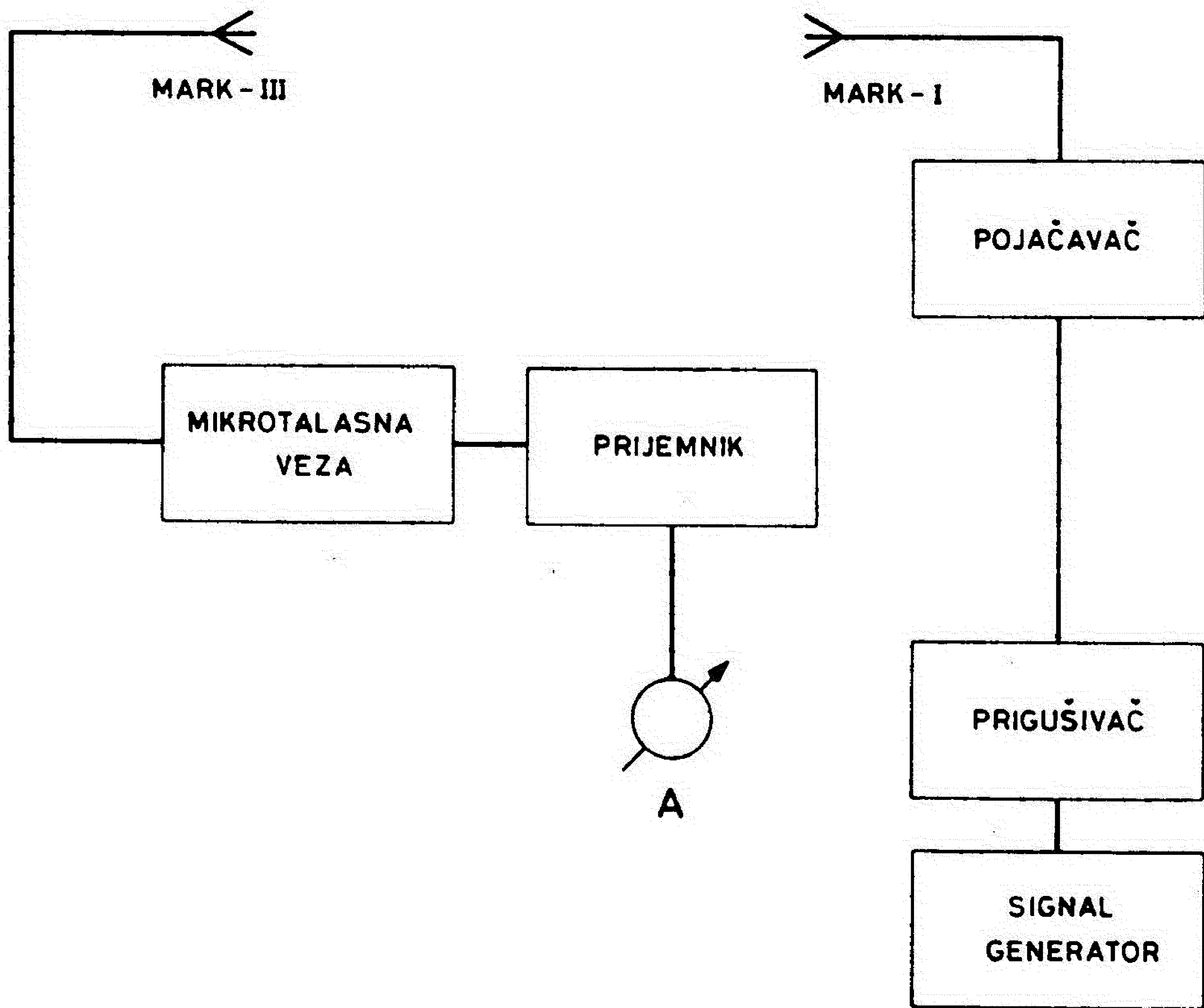


Slika 2. Dipolni sistem



ANTENSKI SISTEM

Slika 3.



Slika 4. Kalibracioni sistem dijagrama usmerenosti

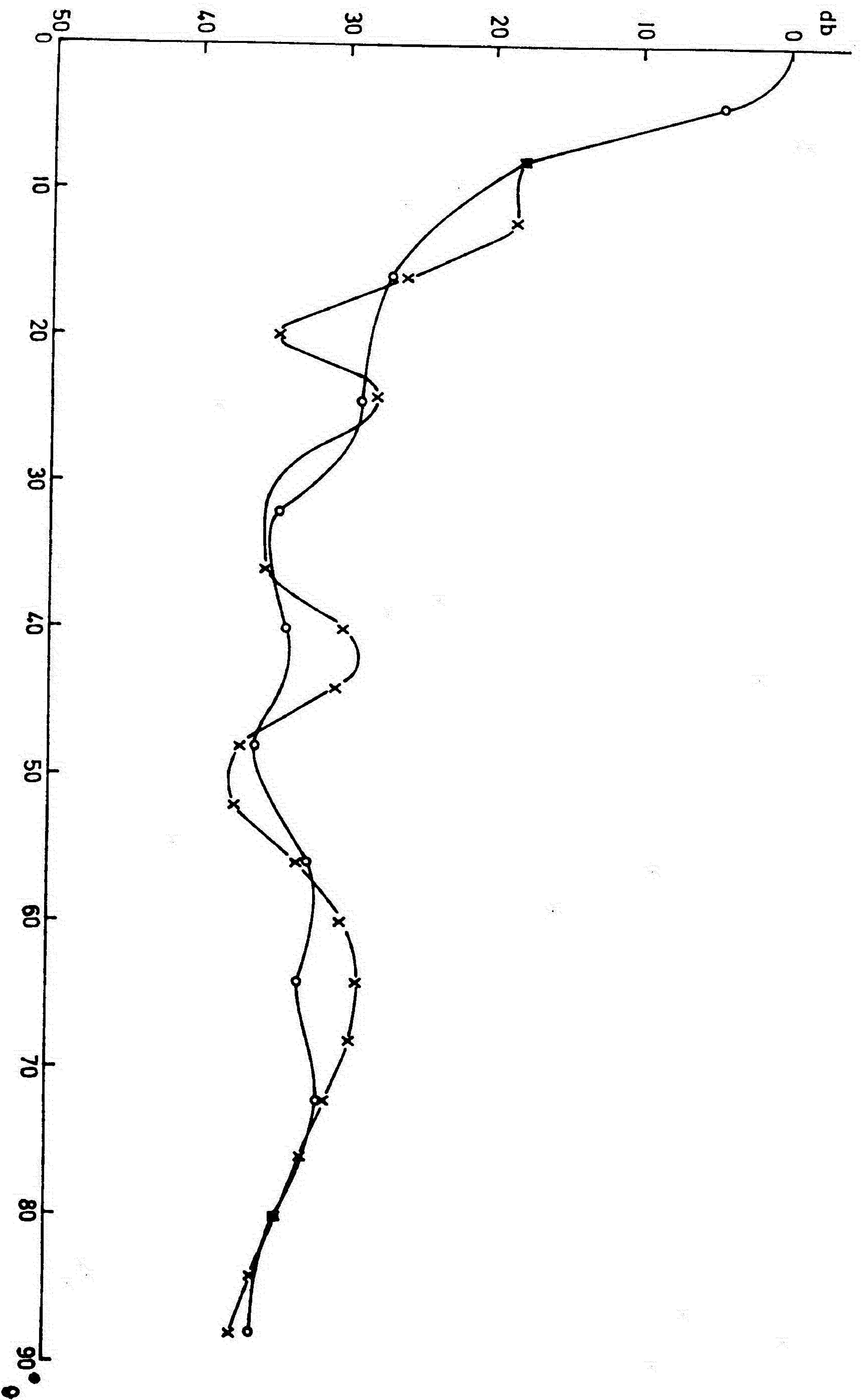
Predpojačavača u fokalnoj kabini nije bilo te je signal iz hibridne mreže išao kroz standardni transmisioni sistem u glavnu zgradu gde se nalazio prijemnik. Kablovi su imali veoma male gubitke a podešavanje antenskog sistema na transmisioni sistem je postignuto sa odnosom stojećeg talasa 1,15:1.

2.1.2. Dijagram usmerenosti snage zračenja

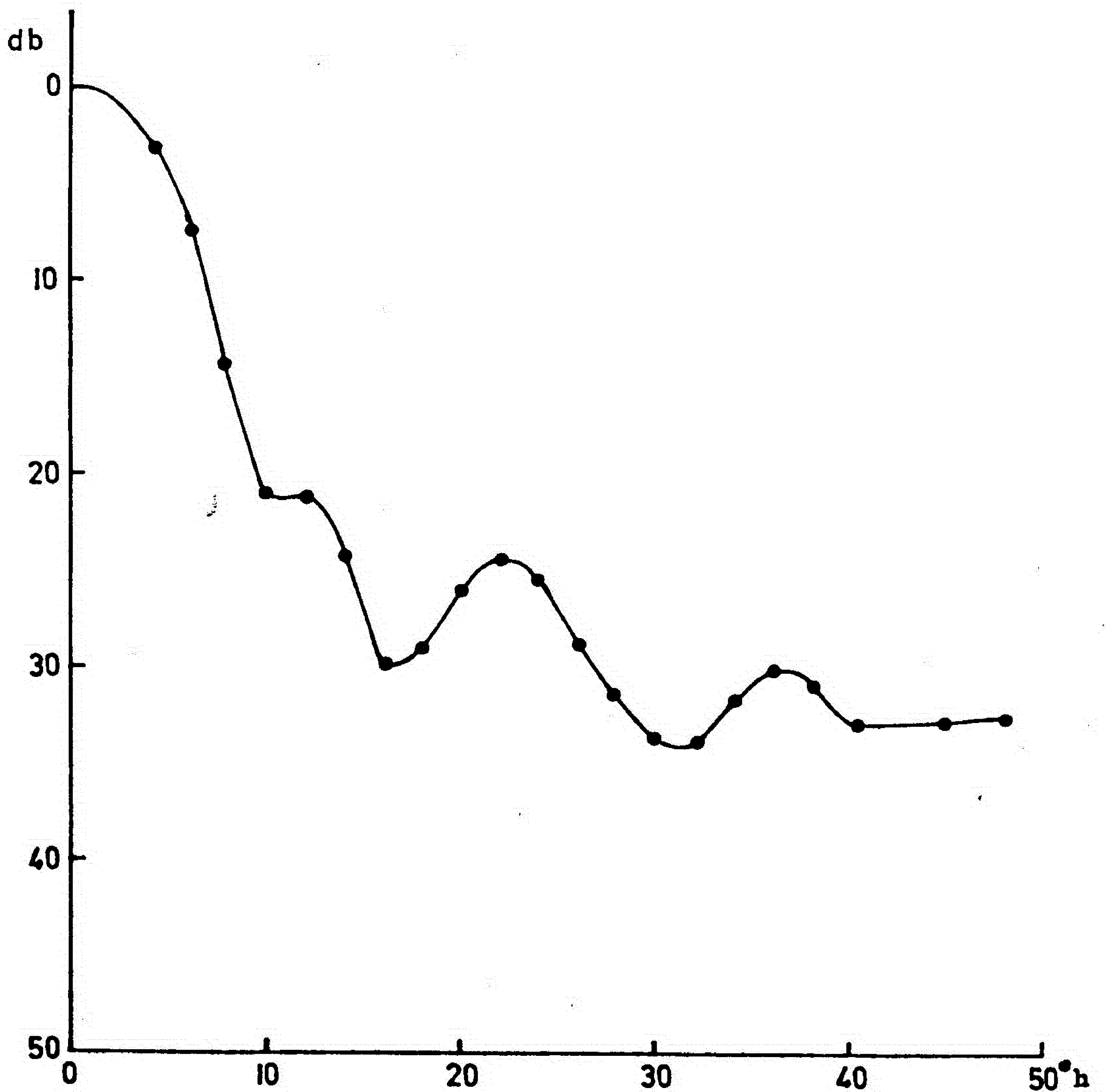
Dijagram usmerenosti zračenja se nije mogao jednostavno izmeriti posmatranjem nebeskih tela jer je glavni list bio razmerno širok na 38 MHz a što ^{se} znalo unapred jer je sledilo iz teoretskih razmatranja (Kraus, 1966).

Ceo dijagram uključujući i daleke bočne listove je bio izmeren koristeći Mark-III radio-teleskop, udaljen 24 km, kao prijemnik i Mark-I radio-teleskop kao predajnik. Taj postupak je dozvoljavao upotrebu snažnih signala, te su se bočni listovi mogli meriti podešavanjem prigušivača u signal-generatoru. Signal primljen od Mark-III teleskopa se vraćao u Džodrel Benk preko postojeće mikrotalasne veze (Sl. 4.). Za svaki položaj Mark-I teleskopa prigušivač B je bio podešavan tako da na pisaču A, gde je stizao signal od Mark-III teleskopa, bude ista visina zapisa. Ta visina je održavana stalnom tokom celog merenja.

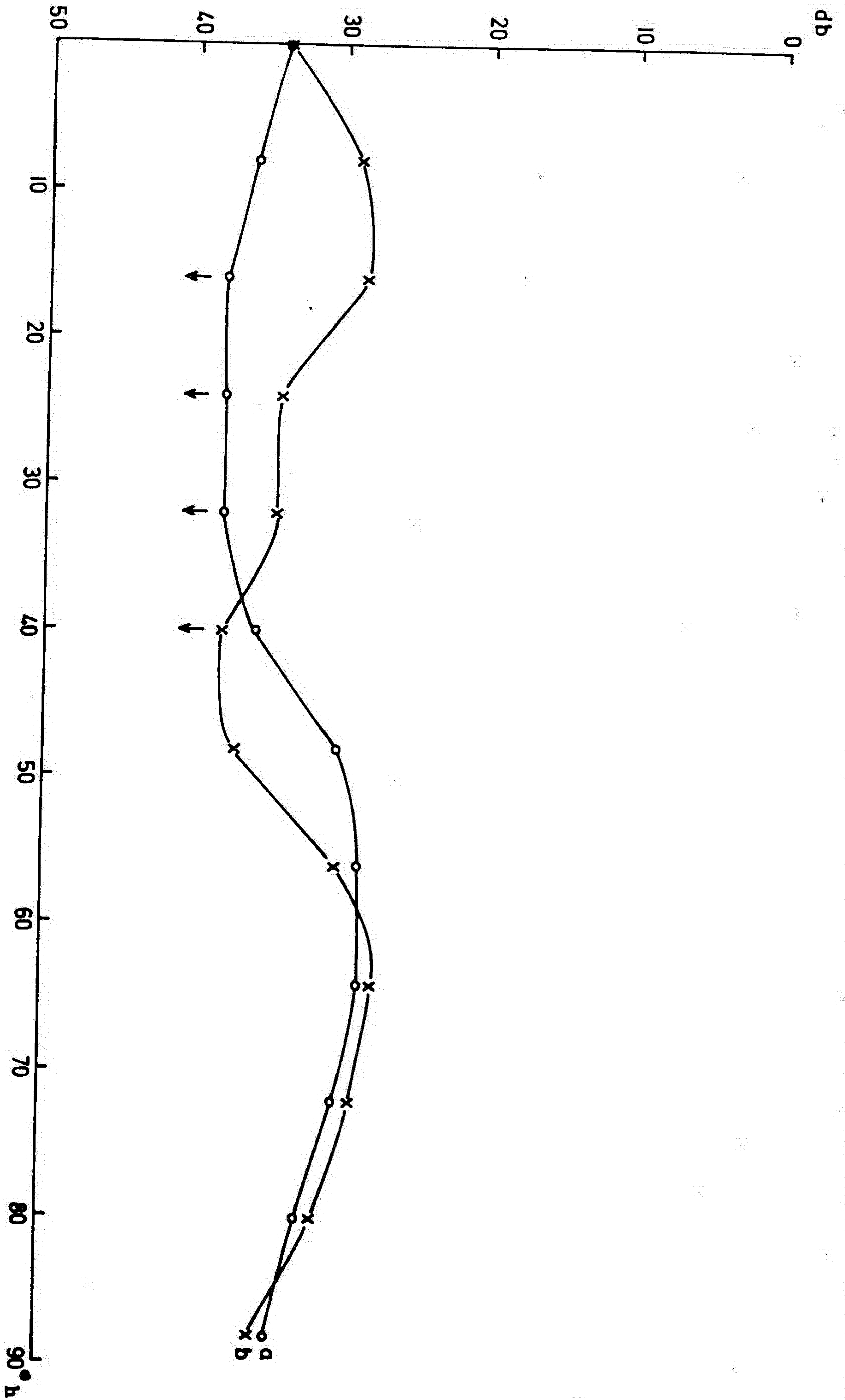
Osnovni preseki dijagrama su mereni tako što je Mark-I bio prvo naperen na Mark-III, a zatim je Mark-I pomeran prvo po azimutu, a kasnije, pošto je ponovo Mark-I naperen na Mark-III, po visini.



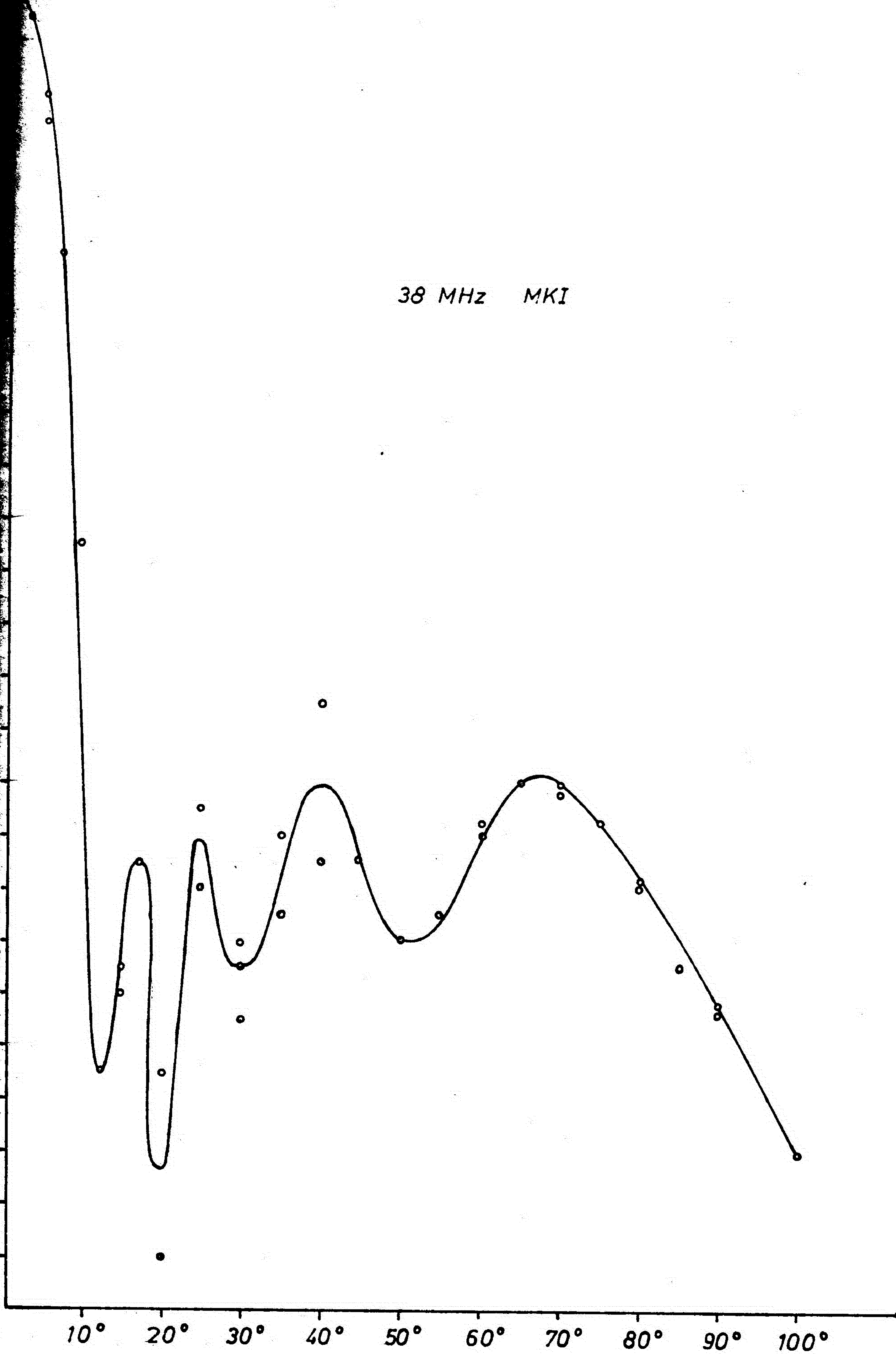
Šlika 5a. Azimutni dijagram usmerenosti



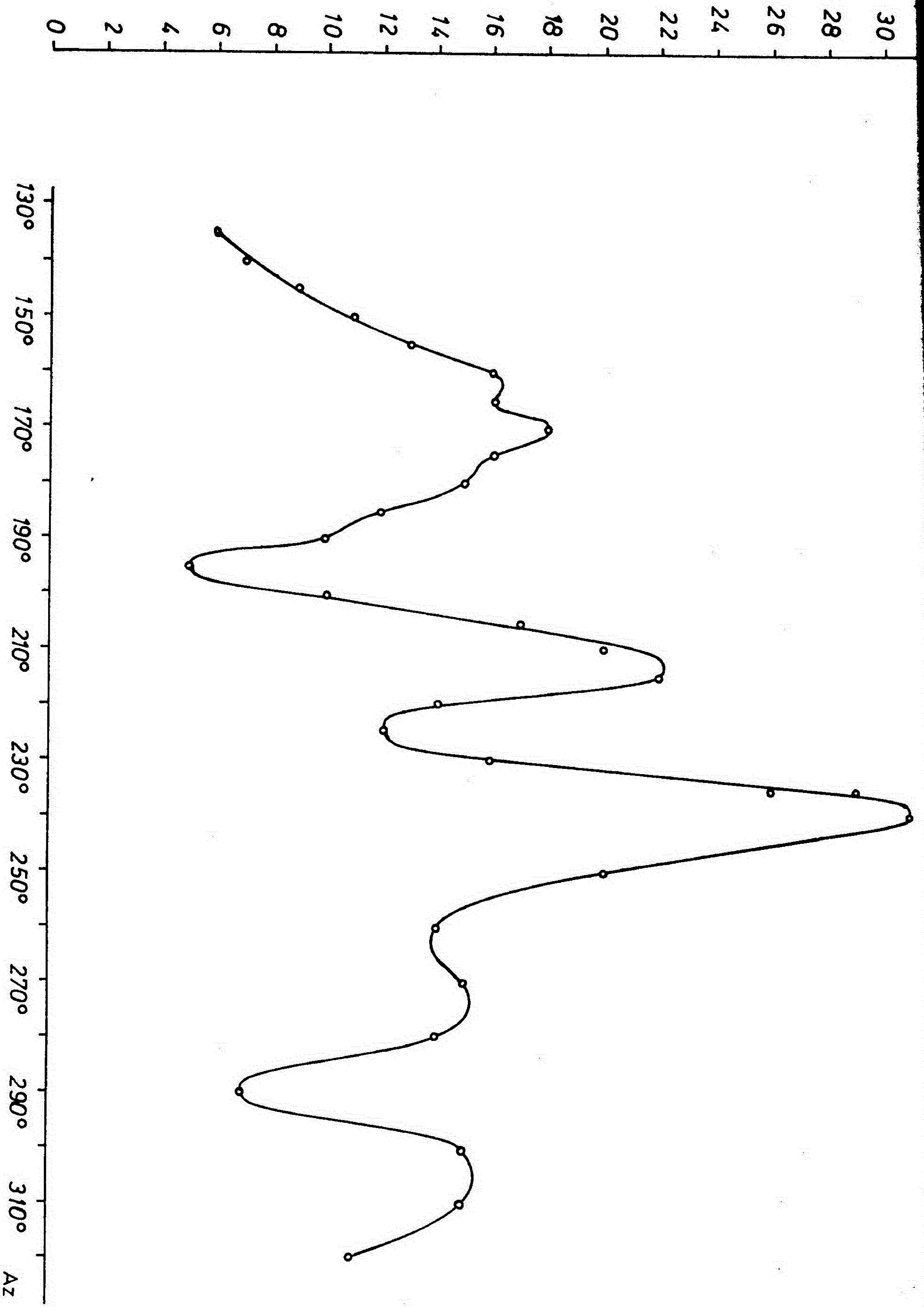
Slika 5b. Visinski dijagram usmerenosti.



Slika 6. Dva visinska preseka dijagrama usmerenosti van glavne ose.



Slika 7. Visinski dijagram usmerenosti meren sa daljine od 2 km.



Ti ortogonalni preseki dijagrama zračenja dati su na slici 5ab. Ostali dostupan deo dijagrama bio je ispitan duž vertikalnog kruga 40° istočno od pravca ka Mark-III teleskopa i vertikalnog kruga 20° istočno (Sl. 6.). Merenja nisu pokazala nikakav neočekivano visok bočni list. Polovina dijagrama međutim, nije mogla biti izmerena jer nije bila dostupna merenju sa izvorom zračenja na zemlji.

Glavni list dijagrama je sem toga izmeren sličnim postupkom koristeći dipol napajan predajnikom na daljini od 2 km od Mark-I teleskopa (Sl. 7.). Predajnik je korišćen i za još jedan presek kroz dijagram, 10° van središta dijagrama (Sl. 8.). Rezultat je bio sličan prethodnom.

Ova merenja su mogla biti zagadjena zračenjem odbijenim od tla ali sledeće činjenice navode na zaključak da se odbijeno zračenje može zanemariti.

(1) Glavni list dobijen kretanjem Mark-I teleskopa po azimutu u oba eksperimenta se pokazao istim. Bio je gladak i simetričan do stupnja 18 db ispod središta lista.

(2) Razlika u predjenim putevima direktnog zraka i odbijenog od idealnog glatkog tla je veoma mala i ne menja se sa promenom pravca teleskopa. U praksi odbijeni zrak je verovatno bio beznačajan zbog apsorpcije od strane drveća i drugih topografskih objekata.

(3) 3-db širina glavnog lista izmerenog na opisani način bila je identična sa širinom izmerenom pomoću **Cyg A**.

Glavni list se mogao dobro opisati Gausovim krivama sve do mesta gde prijem snage pada za 18 db. 3-db širina glavnog lista je bila 7° po azimutu a 8° po visini. Nivo bočnih lis-

tova u prednjoj polovini dijagrama nije prelazio 25 db ispod maksimalnog prijema na daljini većoj od 15° od središta dijagrama. U zadnjoj hemisferi veličina bočnih listova je zanemarljiva.

Konvolucija primenjena pri obradi podataka promenila je širinu glavnog lista na $7^{\circ}1/4 \times 8^{\circ}1/4$. Uzimajući da je dijagram predstavljen srednjom vrednošću merenja u ortogonalnim ravni izračunato je da je udeo snage koja stiže kroz glavni snop, uzetog do daljine od 10° , 83%, udeo bočnih listova u prednjoj polulopti dijagrama 16% dok svega 1% otpada na zadnju poluloptu.

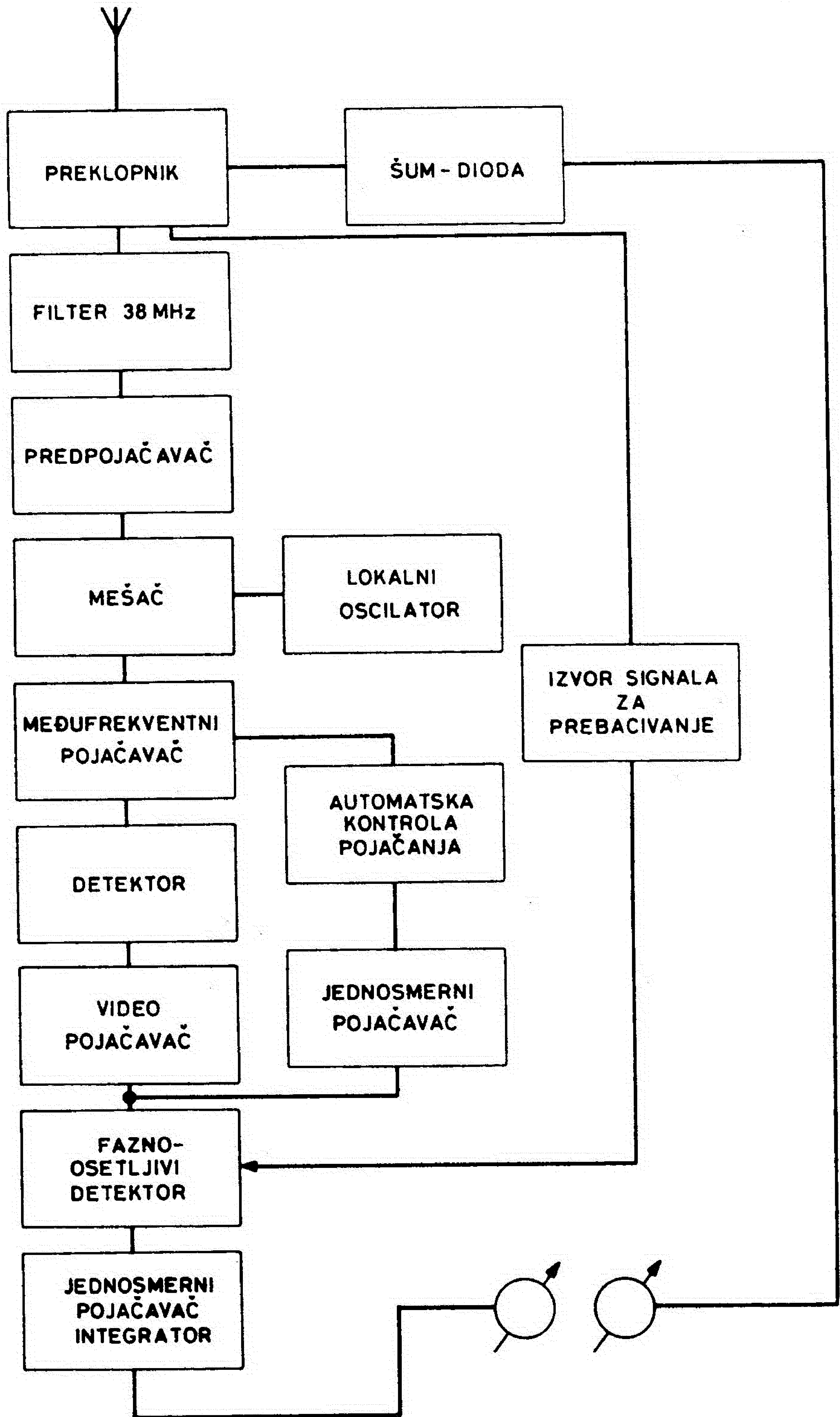
Prostorni ugao dijagrama (Kraus 1966) je izračunato da iznosi $2,46 \times 10^{-2}$ sr. dok prostorni ugao glavnog lista iznosi $2,04 \times 10^{-2}$ sr.

2.2. Prijemni sistem

2.2.1. Prijemnik

Prijemni sistem je bio tipa diferencijalnog radiometra zasnovanog na idejama **Dikea** (Dicke, 1946) i Rajla i Vonberga (Ryle and Vonberg, 1948). Odluka da se upotrebi diferencijalni metod je bila doneta zbog toga što se time znatno smanjuju uticaji nestabilnosti prijemnika i šuma prijemnika.

Osnovna ideja diferencijalne metode jeste da se antena i poredbeni izvor naizmenično priključuju na prijemnik. Učestanost kojom se prebacuje veza bira se tako da pojačanje u toku jednog ciklusa ne stiže znatno da se promeni. U suštini



Slika 9. Prijemni sistem.

takav postupak odgovara čestoj kalibraciji.

Onaj deo prijemnog sistema koji je karakterističan za diferencijalni radiometar se sastoji od preklopnika, izvora učestanosti kojom se veza prebacuje i fazno-osetljivog detektora. Ostatak uređaja je uobičajeni superheterodini prijemnik. Blok šema prijemnog sistema korišćenog u ovom radu data je na slici 9.

U Džodrel Benku se prebacivanje veze sa antene na poredbeni izvor vršilo 72 puta u sekundi. Poredbeni izvor je bilo kolo sa jednom šum-diodom. Ukoliko srednja vrednost šuma koji stiže od antene i šuma poredbenog izvora u toku jednog ciklusa nisu bili potpuno isti, naizmenično priključivanje je dovodilo do amplitudne modulacije signala. Oblik obvojnice radio-signala je bio povorka pravougaonih impulsa frekvencije $f_p = 72 \text{ Hz}$.

Šum antene ili diode je prvo prolazio kroz filter podešen tako da propušta učestanosti oko 38 MHz u opsegu od 1 MHz. Posle filtra signal je pojačavan u predpojačivaču. Mešanjem tog radio signala sa signalom učestanosti 68 MHz koji je dolazio iz lokalnog oscilatora dobijao se signal učestanosti 30 MHz. Za međuučestanost od 30 MHz je bio podešen sledeći stepen prijemnika. Pojačan u medjufrekvencijskom pojačavaču signal je ulazio u detektor. Iz detektora je signal izlazio očišćen od visoke učestanosti. Takav signal se pojačavao u video pojačavaču. Najveći deo tog pojačanog signala je vodjen na jedan ulaz fazno osetljivog detektora, dok je manji, pojačan u jednosmernom pojačavaču, služio za automatsku regulaciju pojačanja medjufrekventnog stepena. Na drugi ulaz fazno osetljivog detektora dolazio je signal iz pogonskog

stepena za 72 MHz. Taj stepen je bio izvor pravougaonih impulsa koji su služili za prebacivanje veze. Osnovna osobina fazno osetljivog detektora jeste da proizvodi izlazni signal proporcionalan razlici amplituda ulaznih signala i kosinusu njihove fazne razlike. U ovom slučaju, pošto je na jedan ulaz dovodjen modulisani signal a na drugi ulaz, sinhrono sa njim, signal koji je dovodio do modulacije, na izlazu iz fazno osetljivog detektora se pojavljivala jednosmerna struja proporcionalna onoj komponenti signala čija je učestanost bila 72 MHz. S obzirom da je ta komponenta proizvedena naizmeničnim prebacivanjem njena amplituda je bila proporcionalna razlici između šuma antene i šuma diode. Jednosmerni pojačavač je signal iz fazno osetljivog detektora pojačavao a integrator je izgladjivao fluktuacije kojima je taj signal bio neizbežno opterećen. Fluktuacija amplitude jednosmernog signala je moralo biti jer je taj signal po poreklu šum. Na kraju prijemnog sistema se nalazio dvokanalni pisač. Na jednom kanalu je zapisivan signal proporcionalan razlici struje antene i struje diode dok je na drugom kanalu beležena struja diode. Oba zapisa su tekla uporedo i činila osnovu svih daljih očitavnja i analiza.

2.2.2. Teorija prijemnog sistema

Elementi teorije diferencijalnog radiometra mogu se naći u specijalizovanoj literaturi (e.g. Kraus, 1966). Ovde izložena teorija prilagodjena je upotrebljenom prijemnom sistemu Džodrel Benka.

Neka je temperatura šuma antene T_a a širina propusnog opsega visoke učestanosti Δf_{vu} . Tada je snaga šuma koji stiže iz antene, prema Nikvistovoj teoremi

$$P_A = k T_A \Delta f_{vu}$$

gde je k Bolcmanova konstanta.

Snaga šuma iz poredbene šum-diode biće

$$P_D = k T_D \Delta f_{vu}$$

Da je $P_A = P_D$ nikakav jednosmerni signal se ne bi pojavio na izlazu iz fazno osetljivog detektora. Medjutim, pošto je T_a nešto različito od T_D , snaga modulisanog signala pre pojačavanja biće

$$P_S = k \Delta T \Delta f_{vu}$$

Posmatrajmo sada fazu u kojoj je antena vezana za prijemnik. Posle prolaska kroz stepene koji prethode detektoru snaga signala će biti pojačana ali će se i uvećati za šum koji sam prijemnik proizvodi. Kako se i taj šum pojačava snaga ukupnog signala biće

$$P_{HF} = G_{vu} k (T_A + T_P) \Delta f_{vu},$$

gde su G_{vu} faktor pojačanja a T_P temperatura šuma prijemnik zajedno sa kablovima u predetekcionom stepenu. Detektor u principu radi tako što mu je izlazni napon proporcionalan kvadratu ulaznog napona. Otuda će napon na izlazu iz detektora biti srazmeran snazi ulaznog signala, tj.

$$V_1 = q G_{vu} k (T_A + T_P) \Delta f_{vu},$$

je q konstanta.

Napon na ulazu fazno osetljivog detektora kada je antena vezana za ulaz je

$$V_A = C' G_{vu} k (T_A + T_P) \Delta f_{vu},$$

gde je C' konstanta koja uključuje dejstvo detektora i video pojačavača.

Napon na ulazu fazno osetljivog detektora kada je šumodioda vezana za ulaz

$$V_D = C' G_{uv} k (T_D + T_P) \Delta f_{vu}.$$

Kada je $V_A = V_D$ na ulazu fazno osetljivog detektora će se posmatrano u dužem vremenskom razmaku da stiže komponenta koja se sastoji od pravougaonih impulsa amplitude srazmerne razlici $V_A - V_D$ a učestanosti f_P . Faza tog talasa u odnosu na signal koji prebacuje vezu biće 0° ako je $V_A > V_D$, a 180° ako je $V_A < V_D$.

Uzmimo prvi slučaj; tada će jednosmerni napon na izlazu iz fazno osetljivog detektora biti

$$V = C (V_A - V_D) = C' C'' G_{vu} k (T_A - T_D) \Delta f_{vu},$$

gde je C'' konstanta koja daje pojačanje samog fazno osetljivog detektora. Izraz za napon se može pisati i kao

$$V = C' C'' G_{vu} k (T_A - T_D) \Delta f_{vu},$$

2.2.3. Stabilnost pojačanja

Detektor nije u stanju da razlikuje povećanje signala T od porasta pojačanja G . Uzmimo da se G promenilo za ΔG . U tom slučaju će napon na izlazu iz fazno osetljivog detektora biti

$$V' = C'C'' (G_{vu} + \Delta G)(T_A - T_D) k \Delta f_{vu},$$

odnosno

$$V' = C'C'' G_{vu} (T_A - T_D) k \Delta f_{vu} + C'C'' G_{vu} \frac{\Delta G}{G_{vu}} (T_A - T_D) k f_{vu}$$

Poslednji član može da se shvati i kao promena temperature šuma na ulazu u prijemnik ΔT . Taj "kvazi temperaturni porast je

$$\Delta T_G = (T_A - T_D) \frac{\Delta G}{G_{vu}}.$$

Očevidno je da je $\Delta T_G = 0$ ako je $T_A = T_D$. Drugim rečima ako se sistem održava veoma blizu ravnotežnog stanja za koje je $T_A = T_D$, uticaj nestabilnosti pojačanja biće minimalan. Tokom posmatranja na 38 MHz u Džodrel Benku sistem je održavao blizu ravnoteže posmatrač, ručno menjajući šum diode

2.2.4. Osetljivost

Osetljivost uravnoteženog prijemnika je određena temperaturom šuma sistema T_{sis} koji je jednak zbiru temperature šuma samog prijemnika i šuma signala ($T_s + T_p$).

Prema uobičajenoj definiciji, osetljivost prijemnika se

je najslabijim signalom ΔT_{\min} koji se može zapaziti. Pošto se u opisanom uređaju antena priključivala za prijamnik samo tokom polovine raspoloživog vremena, osetljivost diferencijalnog radiometra je dva puta manja od osetljivosti direktnog radiometra. Otuda je, kako sledi iz teorije radiometara,

$$T_{\min} = 2 \frac{T_{\text{sis}}}{\sqrt{\Delta f_{\text{vu}} \tau_{\text{nu}}}} ;$$

gde su: $T_{\text{S}} = T_{\text{a}} + T_{\text{p}}$ ako je priključena antena a τ_{nu} je vremenska konstanta integratora fluktuacija niske učestanosti. Pri konstruisanju mora se voditi računa da bude $\tau_{\text{nu}} \gg f_{\text{p}}$.

Teorijska osetljivost pri posmatranju sjajnih delova neba na 38 MHz procenjena je uzimajući najveću zabeleženu temperaturu antene. Pošto je $T_{\text{A}} \gg T_{\text{P}}$, $\Delta f_{\text{vu}} = 1 \text{ MHz}$ i $\tau_{\text{nu}} = 1$, u oblasti bliskoj galaktičkom središtu

$$(\Delta T_{\min})_{\text{G.S.}} \approx 100 \text{ K.}$$

U hladnijim delovima neba, kao što su oblasti galaktičkih polova

$$(\Delta T_{\min})_{\text{G.P.}} \approx 20 \text{ K.}$$

U pregledu koji je izložen u ovoj tezi, nije ni bila kamera da se traga za slabim izvorima, jer je dijagram usmerenosti antene za to preširok. Zbog toga ni pitanje osetljivosti nije bilo od velike važnosti. Šum prijemnika u diferencijalnom radiometru se ne pojavljuje u krajnjem zapisu izuzev kroz sitne fluktuacije zapisa. Zbog toga posebni naponi nisu ni ulagani se on smanji.

2.2.5. Delovi prijemnika

Delovi prijemnika i njihove tehničke osobine su veoma podrobno opisani u magistarskoj tezi autora (Milogradov-Turić 1972b). Pošto su to manje više poznata tehnička rešenja, nije bilo potrebno ponovo ih sve opisivati u potpunosti. Za praćenje izlaganja ove doktorske disertacije jedino je važan opis rada šum-diode, kao drugog ključnog elementa uređaja za posmatranje na 38 MHz. Ostali delovi su zato samo ukratko navedeni.

1.- Preklopnik veze.- U prvom posmatračkom roku preklopnik veze se sastojao od generatora \square impulsa učestanosti 72 Hz i hibridnog prstena prema konstrukciji Smita (Smith, 1961a). U drugom posmatračkom roku bio je upotrebljen generator impulsa i skretnica ukupne snage.

2.- Predpojačavač.- Predpojačavač napravljen za ova posmatranja bio kaskadnog tipa. Korišćene su cevi jer imaju

- a) manji šum,
- b) linearnu karakteristiku u velikom opsegu ulaznih napona,
- c) visok faktor pojačanja na 38 MHz (27 db).

Filtar koji se nalazio ispred pojačavača je bio petostepeni filtar širine propusnog opsega od 1 MHz.

2.- Mešač i lokalni oscilator.- Ova dva dela su bili uobičajene konstrukcije, sa transistorima. Mešanjem signala od 68 MHz sa ulaznim signalom od 38 MHz dobijale su se dve učestanosti: 30 MHz i 98 MHz. Ova viša se kao nepotrebna zaustavljala u 38 MHz filtru.

4.- Medjufrekvencijski stepen.- Pojačavač medjuučestanosti je bio standardni Decca pojačavač koji je radio na 30 MHz. Sastojao se od predpojačavača medjuučestanosti, glavnog pojačavača, izvora struje i mernog uređaja. Pojačanje predpojačavača je bilo 36 db dok je glavni pojačavač mogao dati i 60 db.

Frekvencijska karakteristika je bila srazmerno ravna sa maksimumom oko 31 MHz i širinom opsega od 4 MHz.

Udeo šuma medjufrekvencijskog dela je bio 20 db manji od šuma radiofrekvencijskog dela (visoke učestanosti - 38 MHz).

Ukupno pojačanje radiofrekvencijskog stepena i medjufrekvencijskog stepena je dostizalo i 124 db.

5.- Detektorski i jednosmerni stepeni.- Detektor, videopojčačavač, integrator i dvokanalni pisač bili su oni uređaji koji su korišćeni pri većini posmatranja u Džodrel Benku. S obzirom da je glavno integraciono RC kolo imalo otpornik od $1\text{ M}\Omega$ a kondenzator od $1\ \mu\text{F}$ integraciona konstanta je bila 1 s. Traka pisača se odmotavala brzinom od 1 stope na čas.

6.- Poredbeni izvori šuma.- Poredbenih izvora šuma je bilo dva. Oba su imali po diodu CV 2171 koje su korišćene u oblasti zasićenja, kao izvori struje šuma. Prema Šotkijevom zakonu srednji kvadrat struje šuma je

$$\overline{i^2} = 2e \cdot \bar{I} \cdot \Delta f,$$

gde je \bar{I} srednja struja diode, e naelektrisanje elektrona, a Δf širina propusnog opsega. U oblasti zasićenja svi elektroni koji se emituju sa katode stižu na anodu tako da struja

šuma praktično ne zavisi od promene napona. Propuštajući srednju struju šuma kroz otpornik R moguće je proizvesti snage šuma koje odgovaraju veoma visokim vrednostima temperature šuma. Najpovoljniji prenos te snage šuma je ostvaren ako je snaga podjednako raspoređena na anodni otpornik R i opterećenje. Otuda je najveća raspoloživa snaga takvog izvora šuma

$$P_D = \overline{(1/2 i)^2} R = 1/2 eIR \Delta f.$$

Sam otpornik R , budući da ima temperaturu sredine $T_0 \neq 0 K$, proizvodi snagu šuma koja je prema Nikvistovoj teoremi

$$P_R = k T_0 \Delta f.$$

Ukupna raspoloživa snaga šuma je stoga

$$P = 1/2 eIR \Delta f + k T_0 \Delta f,$$

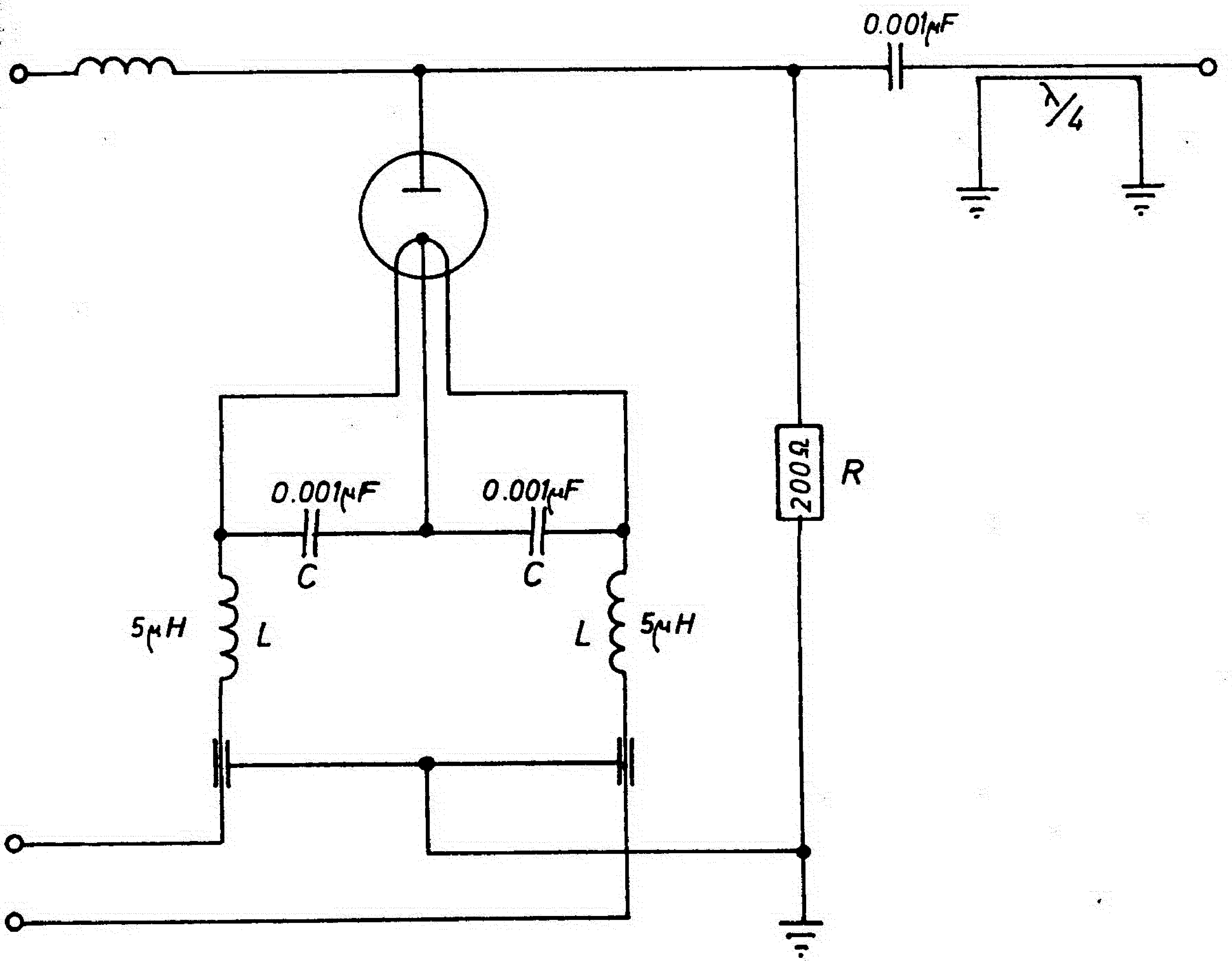
što odgovara temperaturi šuma T_D , prema vezi

$$k T_D \Delta f = 1/2 eIR \Delta f + k T_0 \Delta f,$$

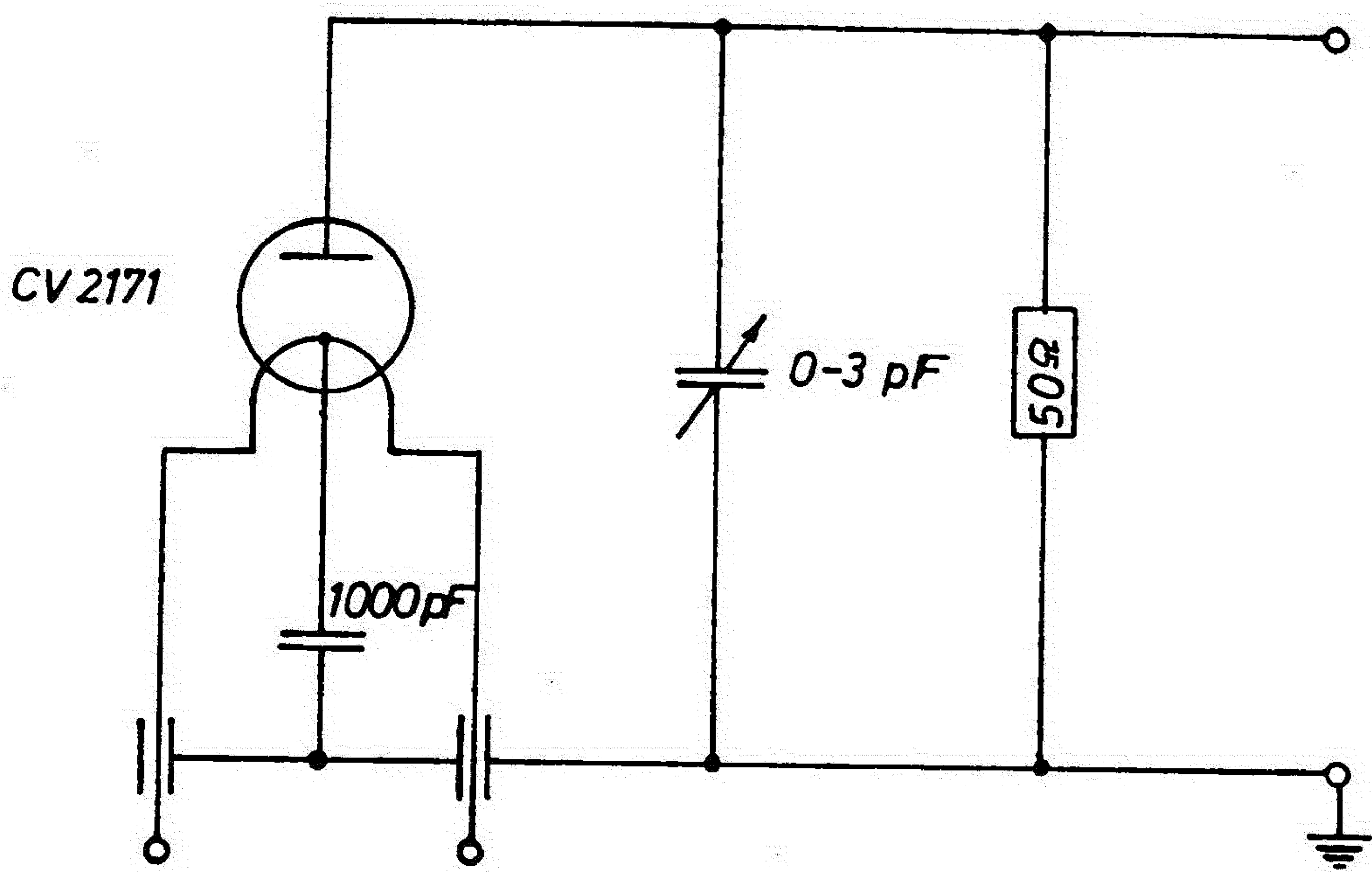
$$T_D = T_0 + \frac{e}{2k} IR. \quad (1.)$$

Pošto na 38 MHz antena prima veoma jako radio-zračenje, antenske temperature dosežu do skoro 60 000 K. Zbog toga je bilo potrebno da se za radni poredbeni izvor koristi otpornik od 200Ω . Prilagodjenje izlazne impedance na 50Ω je bilo izvršeno kablom dužine $\lambda/4$ a karakteristične impedance $Z_0 = 100 \Omega$. Za taj komad kabla ulazna impedanca je $Z_u = 200 \Omega$ pa je stoga izlazna impedanca Z_i

$$Z_i = \frac{Z_0^2}{Z_u} = 50 \Omega.$$



Slika 10. Izvor poredbenog šuma.



STANDARD DIODA

Slika 11.

Šema izvora šuma sa 200 Ω otpornikom, koji je korišćen ovim posmatranjima dat je na sl. 10. Naročita pažnja je uložena u stabilizaciju struje grejanja. Kondenzatori i avojnice su stavljane radi suzbijanja uticaja komponente niske učestanosti. Srednja struja diode je menjana tako da je menjana struja grejanja.

Tokom posmatranja na 38 MHz srednja struja od nekoliko mA je bila potrebna. Kada je Mlečni Put ili neki snažniji zvuk posmatran, morao se ubacivati oslabljivač od 3 db, ali čak 10 db, između antene i prijemnika da bi struja šum-diode bila dovoljna da šum diode i signal iz antene budu približno izjednačeni. Srednja struja šum-diode je bila zapisivana na drugom kanalu pisača.

Tokom posmatranja samo jedan od opisanih izvora šuma je korišćen stalno radio. Drugi je korišćen kao sekundarni standard. Oba izvora šuma A i B su imala anodni otpornik od 200 Ω . Medjusobno su bili kalibrisani (vidi 2.2.6.). Izvor šuma je upoređen sa primarnim substandardom D. To je bio izvor sa šum-diodom CV 2171 i anodnim otpornikom od 50 Ω (sl. 11).

Tačniji izraz koji daje temperaturu šuma kao funkciju srednje struje diode, anodnog otpornika i temperature srednje je izveo Cil (Ziel, 1955).

$$T = T_0 + \frac{e}{2k} \frac{\bar{I}}{(1 - (f/f_0)^2)^2},$$

su sem već objašnjenih oznaka, f radna učestanost a f_0 rezonantna učestanost. Kroz faktor $(1 - (f/f_0)^2)^{-2}$

uzima se u obzir činjenica da postoji parazitski kapacitet (C) koji dolazi od veza kod sistema anoda-katoda i parazitska induktivnost (L) koja nastaje u delovima diode i vezama duž kojih se prostire radio-signal. Ekvivalentno kolo poredbenog izvora sa šum diodom bi se sastojalo od izvora struje paralelno vezanog sa C, pri čemu su oba povezana na red sa L i R. Unutrašnji otpor same diode se smatra beskonačno velikim.

Zbog svega toga će struja kroz otpornik R biti veća nego u idealnom slučaju. Podaci proizvođača i obavljena merenja impedance izvora šuma su pokazala da je za CV 2171 šum-generator učestanost $f_0 \approx 500$ MHz. To znači da je na 38 MHz korekcionni faktor manji od 1%, pa je u ovom radu njegov uticaj zanemaren. Ovi zaključci su u skladu sa radom Pertona (Purton.1966a).

Primarni standardni izvor šuma sa CV 2171 i anodnim otpornikom od 50Ω koji je korišćen za pregled neba na 38 MHz bio je upoređen u laboratoriji sa glavnim standardom u Džodrel Benku - izvorom šuma sa koaksijalno montiranom šum-diodom. Takav izvor se preporučuje kao osnovni standard i služio je kao referenca i u drugim eksperimentima u Džodrel Benku. Poređenje nije pokazalo ikakvu приметnu razliku na 38 MHz.

2.2.6. Odnos signala i šuma

Pošto je na 38 MHz $T_{\text{sis}} \approx T_{\text{neba}} = T_{\text{signala}}$, to iz izraza za osetljivost i vreme trajanja ukupne integracije od 8^m (zbog načina zapisivanja) sledi da je signal/šum 10^4 , približno.

2.3. Kalibracija sistema

Kalibracija sistema kao celine se sastojala iz tri

- 1) Kalibracija prijemnog sistema, sa i bez oslabljenim korišćenjem radnog izvora (A) kao poredbenog izvora i sekundarnog substandardnog izvora (B) umesto antensistema kao izvora šuma.
- 2) Kalibracija transmisionog sistema koristeći sekundarni substandardni izvor (B) u fokusu a radni izvor (A) kao primarni izvor.
- 3) Kalibracije radnog izvora (A) u odnosu na primarni standard - izvor (D) u kome je šum-dioda povezana sa anodotpornikom od 50Ω .

Primenom sva tri koraka dobijen je podatak koliko bi dioda sa otpornikom od 50Ω davala snage šuma kada bi nalazila na mestu antene u trenutku kada je uravnotežena šumom radne diode (A) o čijoj srednjoj struji I postoji zapis na pisaču.

Znajući snagu šuma koja stiže, moguće je lako izračunati odgovarajuću temperaturu šuma ta snaga odgovara. Ta temperatura i jeste veličina koja se naziva antenska temperatura T_A . Znači, suštini, znajući veličinu I moguće je izračunati T_A ako su izvršeni svi opisani koraci kalibracije. Ako se pak u fokusu nalazi antena koja prima šum iz vasione i Zemlje, kao što to biva za vreme posmatranja, moguće je opet iz veličine I izračunati antensku temperaturu koja bi tom šumu odgovarala. Matematičko izlaganje je dato u glavi 3. Na ovom mestu

će biti izloženi samo postupak i rezultati kalibracije.

Prvi korak u kalibraciji bio je da se substandardni izvor B veže za prijemnik na mestu gde se inače transmisioni sistem povezuje s prijemnikom, dok radni izvor A ostaje na svom stalnom mestu poredbenog izvora šuma. Zatim je srednja struja diode B menjana u celom raspoloživom opsegu, a šum izvora A za svaku novu vrednost dovodio se u ravnotežu sa šumom izvora B. Grafik na slici 12. pokazuje da je zavisnost izmedju srednje struje izvora A i izvora B bila pravlinija. Metodom najmanjih kvadrata dobijena je za nagib vrednost

$$K_0 = I_{AO}/I_{BO} = 1,051 \pm 0,003 .$$

U ovom izrazu kao i svuda na sličnim mestima indeks označava da oslabljivanja nije bilo (0 db). U slučaju da izmedju izvora B i prijemnika bio ubačen oslabljivač od 3 db dobijen je koeficijent

$$K_1 = I_{B3db}/I_{AO} = 1,96 \pm 0,01 .$$

Za oslabljivač od 10 db dobijen je koeficijent

$$K_2 = I_{B10db}/I_{AO} = 10,00 \pm 0,01 .$$

Odgovarajući grafici su takodje prave linije (Sl.13).

Drugi korak u kalibraciji bio je da se izvor B odnese u fokalnu kabinu i poveže sa transmisionim sistemom umesto antene. Dalje je postupak bio isti. Za svaku vrednost srednje struje izvora B očitavana je ravnotežna vrednost srednje struje izvora A. Rezultat je grafički prikazan na slici 14. Nagib prave je

$$K_3 = I_{\text{BOfocus}}/I_{\text{AO}} = 2,002 \pm 0,005 .$$

Treći korak kalibracije je bio poredjenje izvora A sa izvorom D u laboratoriji. Rezultat je grafički prikazan na grafici 15. Nagib prave je

$$K_4 = I_{\text{DO}}/I_{\text{AO}} = 3,97 \pm 0,06 .$$

Zanimljivo je uočiti da su te vrednosti bliske onome što se teorijski moglo očekivati. Svi navedeni grafici i merenja odnose se na merenja obavljena u januaru 1967.

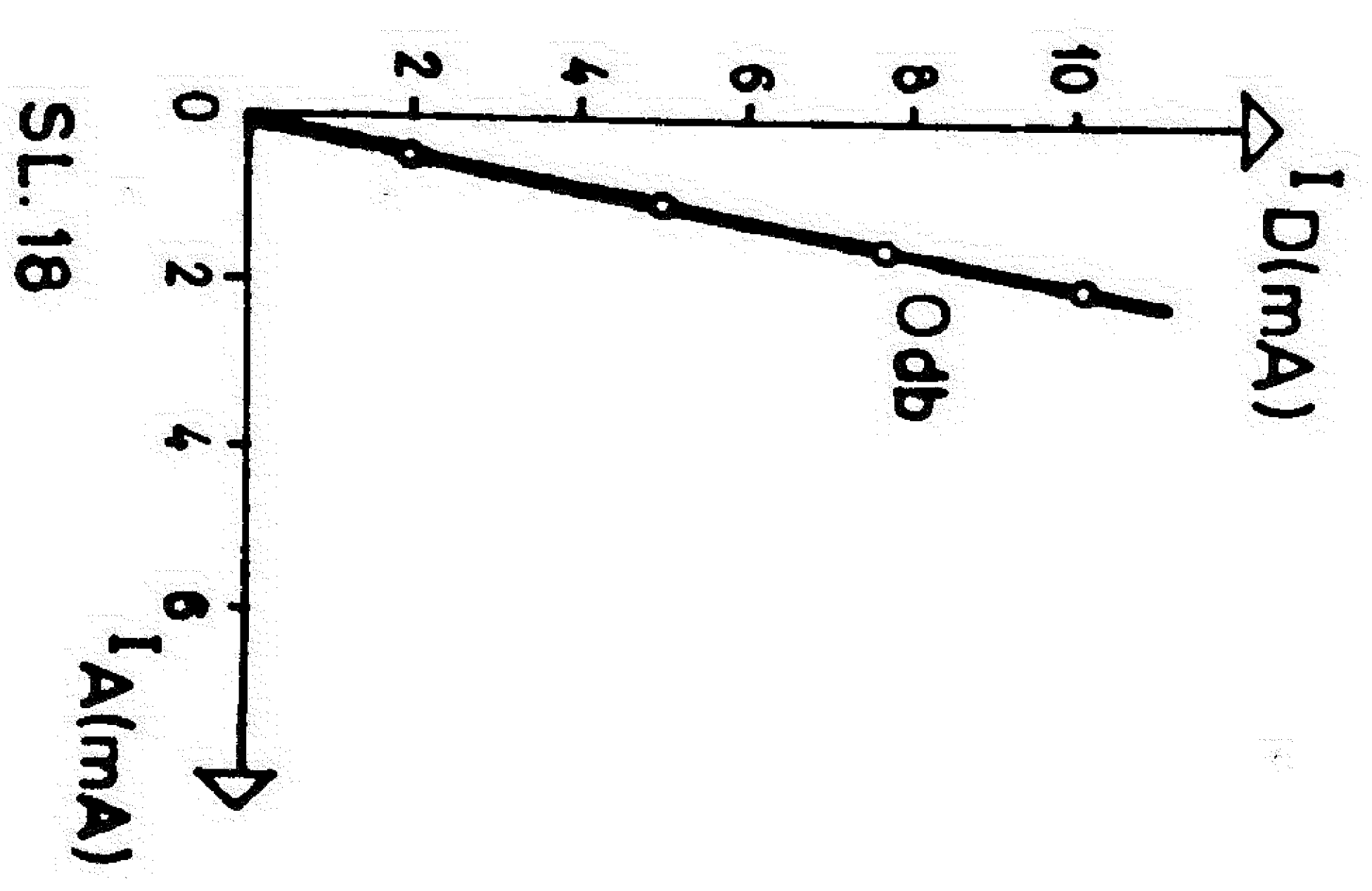
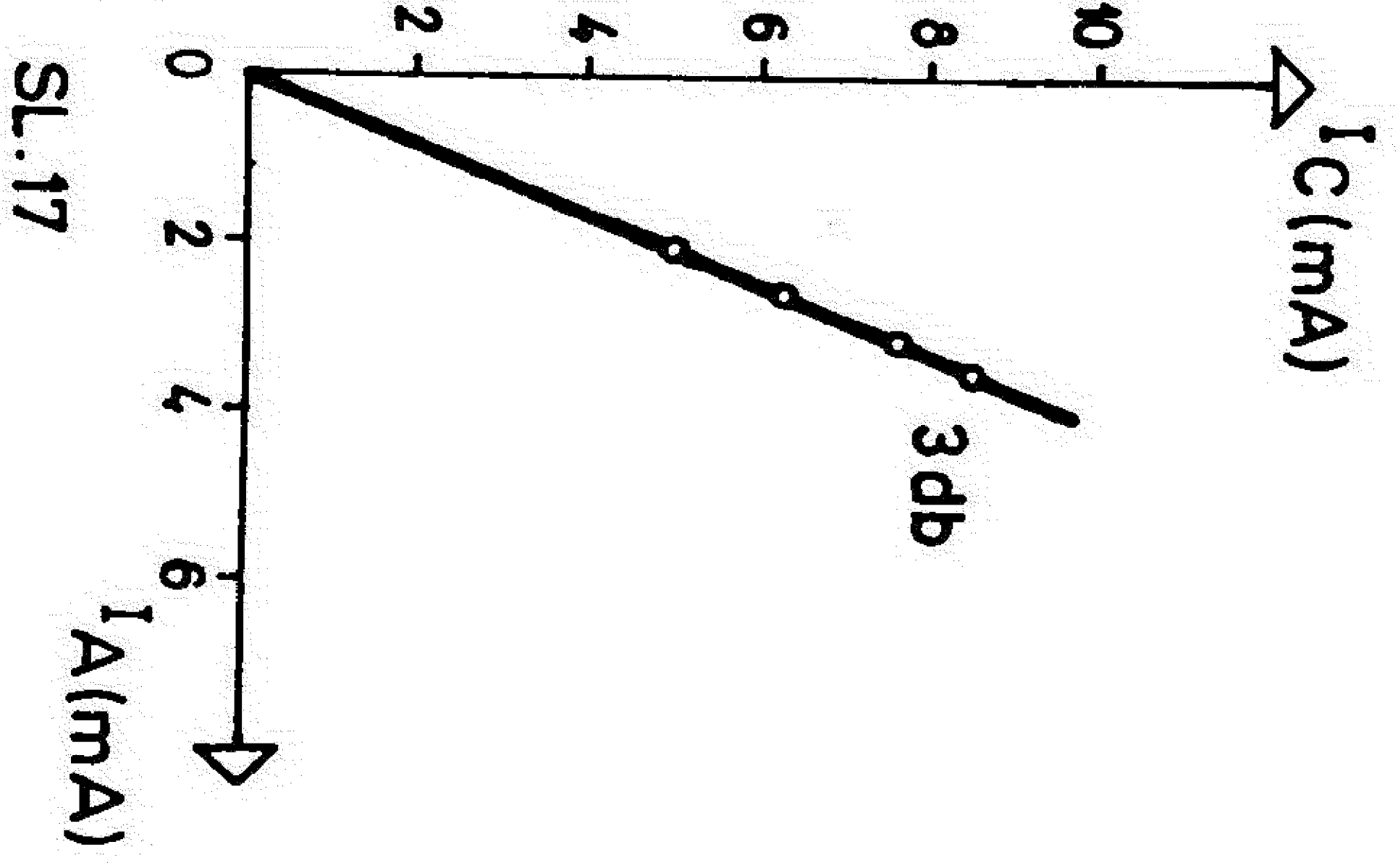
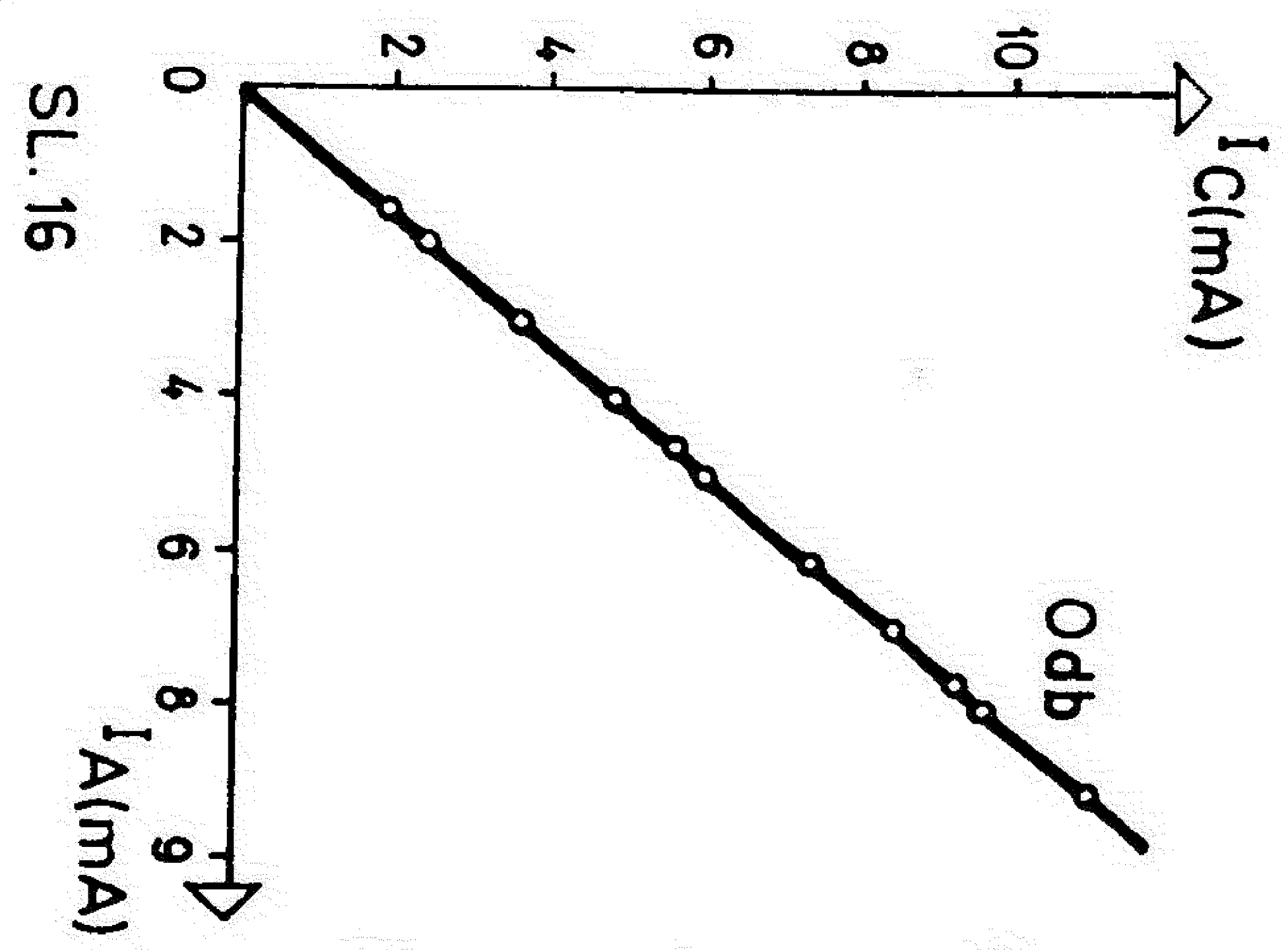
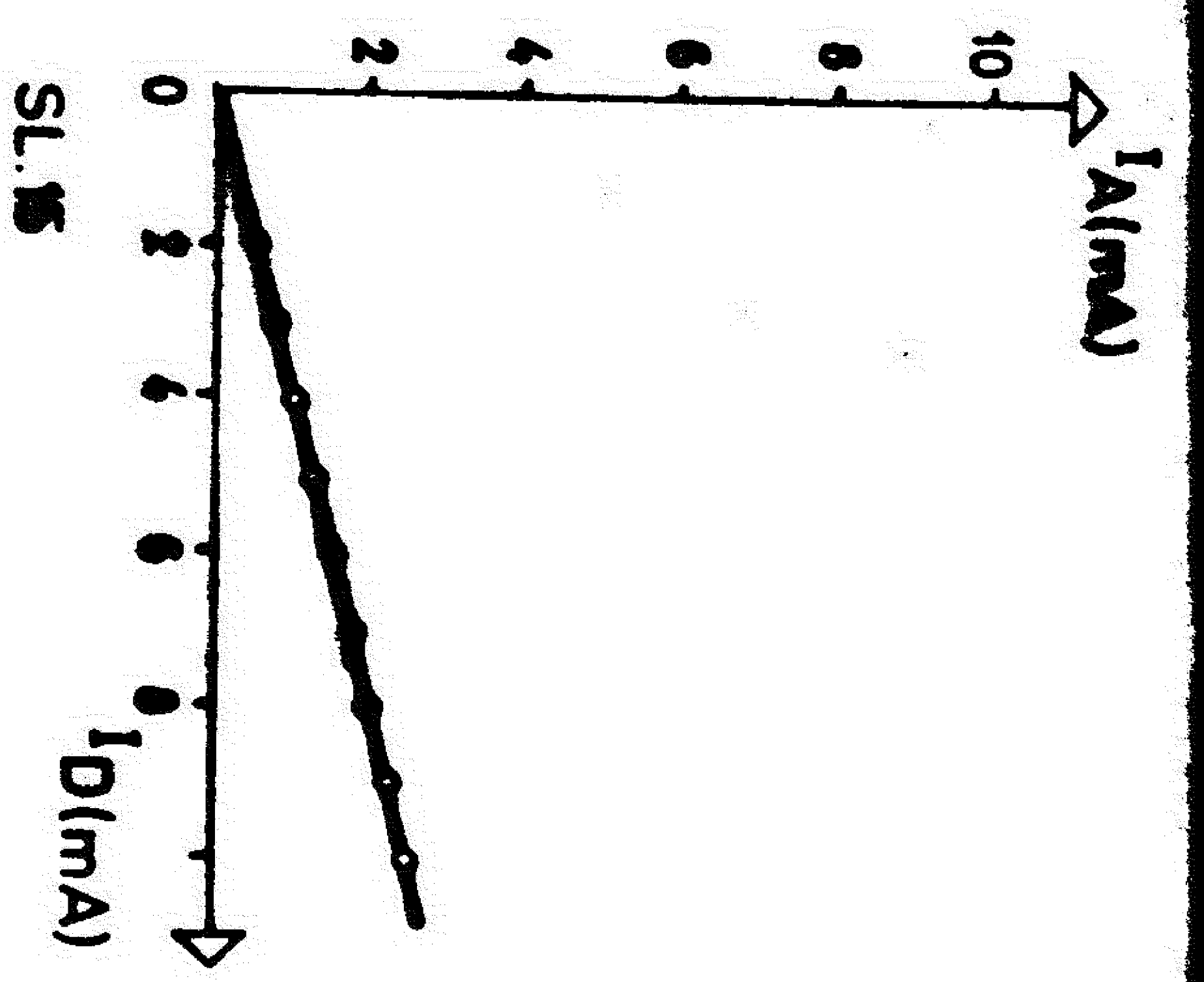
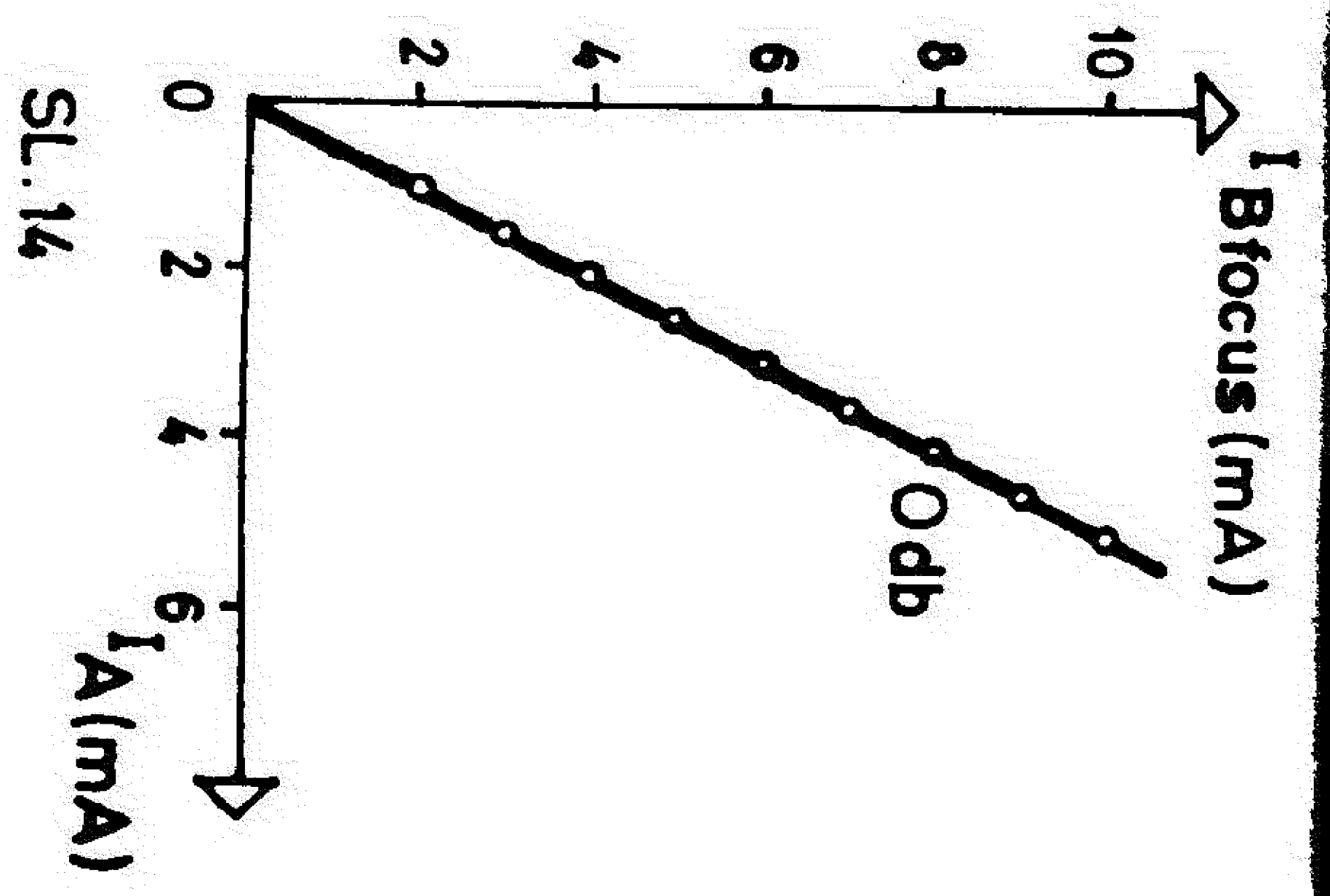
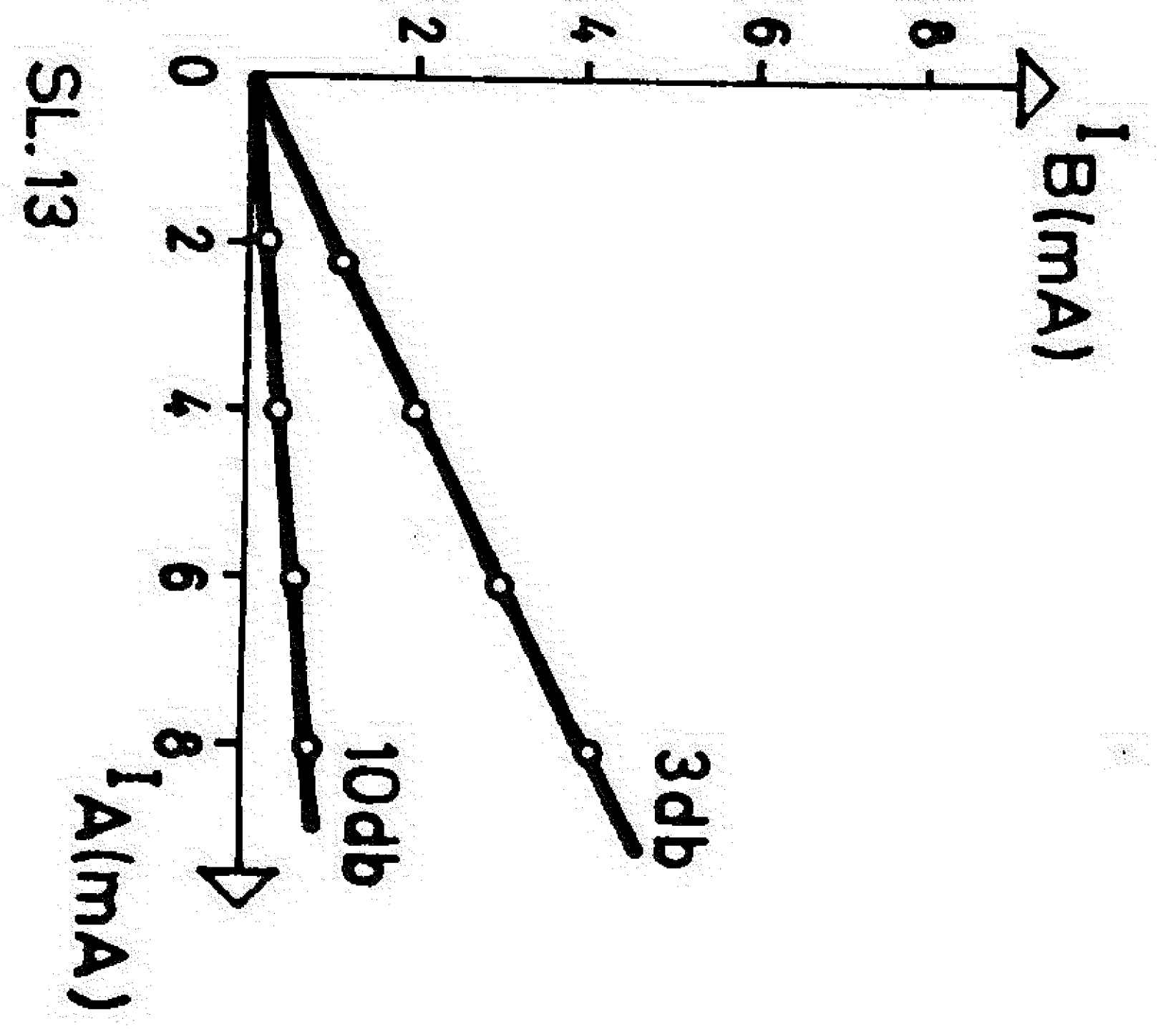
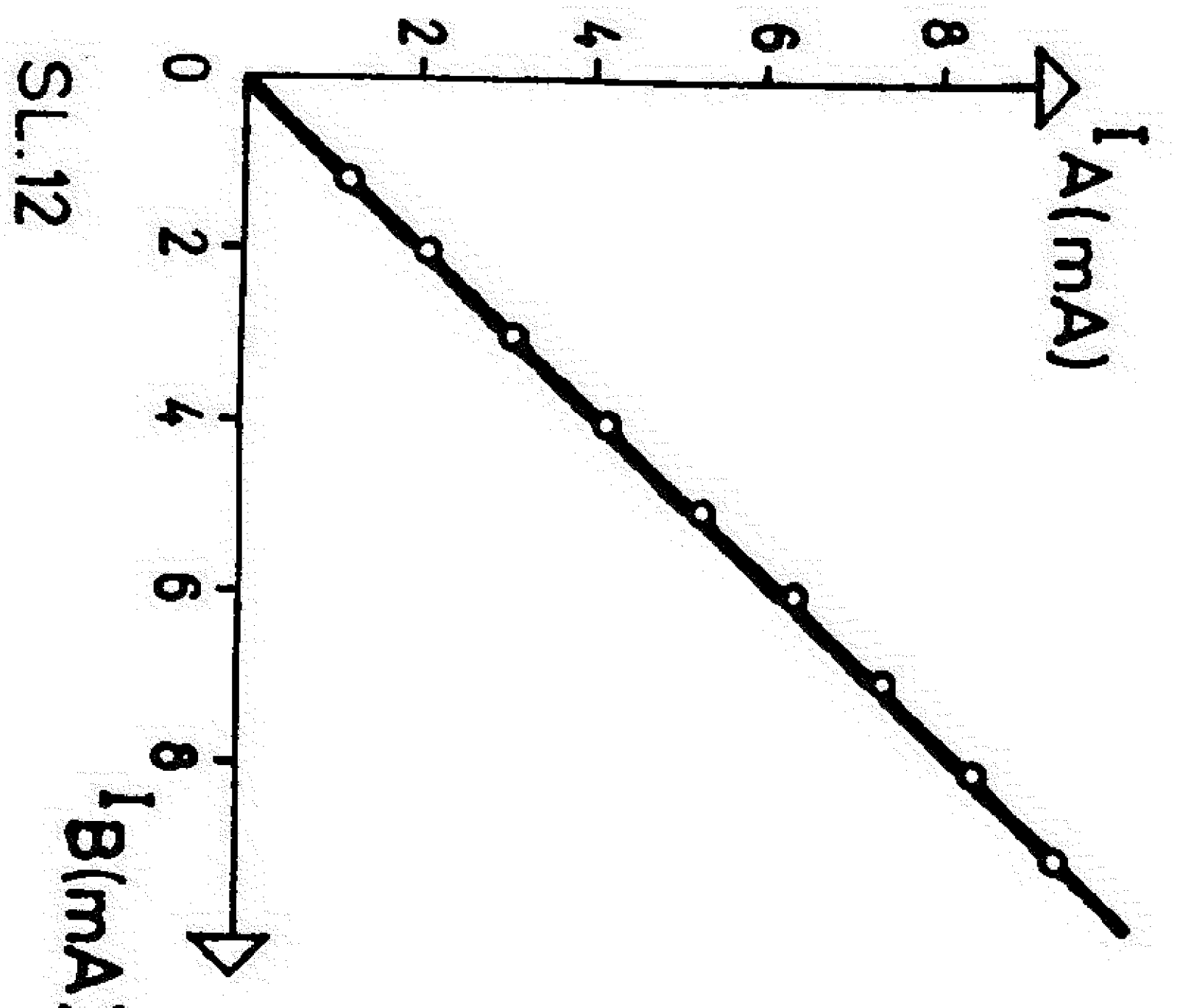
Nov skup kalibracija morao je biti napravljen krajem aprila i početkom maja 1967. kada je na pregledu ponovo radjeno. Označeno sa C substandardni izvor korišćen u tom periodu. Laboratorijska kalibracija radne diode A u odnosu na substandard C data je na Sl. 16. Pošto u tom periodu oslabljivač od 10 db nije ni korišćen samo je kalibracija sa 3 db izvedena (Sl. 17.). Odgovarajući koeficijenti su

$$m_0 = I_{\text{AO}}/I_{\text{CO}} = 0,808 \pm 0,015$$

i

$$m_1 = I_{\text{C3db}}/I_{\text{AO}} = 2,52 \pm 0,05 .$$

Merenja sa dopunskim standardnim izvorom u fokalnoj kabini su u aprilu/maju imala znatno nižu tačnost nego sva prethodno navedena. Uzrok je izgleda čisto subjektivne prirode. Zbog toga su merenja iz aprila i maja bila nadovezana na januarska merenja na sledeći način: prvo je dobijen koeficijent koeficijenta K_0 i m_0



SL.12-18
KALIBRACIONE PRAVE

$$K_{J/A} = \frac{K_0}{m_0} = \frac{I_{CO}}{I_{DO}} = 1,3003 .$$

Zatim je koeficijent koji bi odgovarao nagibu $= I_{Cfocus}/I_{AO}$ izračunat polazeći od kalibracije izvora januarskih kalibracija koji su se odnosili na transmisionog sistema. Taj postupak je smatran opravdanim jer se nisu očekivati ikakve znatne promene u ugradjenom transmisionom sistemu koji se sastoji samo od koaksijalnih kablova i njihovih trajnih spojeva. Zbog toga, ako sa t označimo faktor koji predstavlja uticaj transmisionog sistema može se napisati da je

$$K_3 = \frac{I_{Bfocus}}{I_{AO}} = \frac{t \cdot I_{BO}}{I_{AO}} ,$$

$$m_3 = \frac{I_{COfocus}}{I_{AO}} = \frac{t \cdot I_{CO}}{I_{AO}} .$$

Iz tih jednačina se dobija da je

$$m_3 = \frac{I_{CO}}{I_{BO}} K_3 ,$$

pa je otuda $m_3 = \frac{K_0}{m_0} K_3$, odnosno

$$m_3 = 2,603 \pm 0,049 .$$

Greška za m_3 je izračunata iz grešaka K_0 , m_0 i K_3 , uzimajući da one slede normalnu raspodelu i da drugi izvor grešaka ne postoji.

Kalibracija radnog izvora A u odnosu na dopunski standard je data na slici 18. I to je prava linija čiji je na-

gib ako se izuzme tačka na $I_A = 0,5 \text{ mA}$

$$m_4 = \frac{I_{DO}}{I_{AO}} = 5,12 \pm 0,04 .$$

Ako se pak ta tačka uzme u obzir, metod najmanjih kvadrata daje

$$m_4 = 5,20 \pm 0,23 .$$

Vrednost koeficijenta m_4 izračunata je i sličnim postupkom kao i koeficijent m_3 . Tako dobijena vrednost se samo za 1% razlikuje od m_4 . To može da posluži i kao argument u prilog opisanog postupka za izračunavanje koeficijenta m_3 . Sem toga to govori i u prilog vrednosti m_4 , kao realnije. I inače je malo verovatno da je samo u ovom slučaju instrument tako liko odstupio od očekivane vrednosti.

Navedene vrednosti m_0 , m_1 , m_3 i m_4 i njihove greške su bile korišćene za osnovna izračunavanja antenskih temperatura za posmatrački period iz aprila i maja. (vidi 3. glavu). Pošto su u konačnom izračunavanju antenskih temperatura podaci iz aprila/maja nadovezani na januarske antenske temperature, navedeni problemi kalibracija u aprilu i maju nisu uticali na krajnji rezultat. Jedino u smislu da bi bilo povoljnije imati što više nezavisnih merenja, opisani postupak nije bio poželjan.

Vrednosti date ovde su napisane sa više decimalnih mesta no što je to potrebno stoga što je za račune potrebno koristiti cifru više da ne bi došlo zbog računa do smanjenja tačnosti rezultata. U krajnjim rezultatima odgovarajuće zaokruženo je sprovedeno.

G l a v a 3.

N A Č I N I O B R A D A P O S M A T R A N J A

3.1. NAČIN POSMATRANJA

Posmatranja su obavljena prema osnovnom posmatračkom programu, sa dopunskim posebnim posmatranjima a prema osnovnim zahtevima koji se pred istraživača postavljaju pri radu na 38. MHz.

Posmatralo se radio-teleskopom Mark-I učvršćenim u azimutu u vreme kada je teleskop bio raspoloživ, bilo danju ili noću.

Zbog neizbežnih smetnji, rutinskih tehničkih pregleda a i želje da se što više posmatranja skupi, radilo se u dva posmatračka roka.

Posmatralo se bez obzira na meteorološke uslove pod uslovom da vetar nije bio prejak i da nije postojala pretnja oštećenja radio-teleskopa.

3.1.1. Osnovni problemi i zahtevi

Glavni problem kod pregleda koji se rade na niskim frekvencijama jeste raspoznavanje i odbacivanje sumnjivih signala. Ti nepoželjni signali mogu poticati kako od prirodnih pojava tako i od raznih naprava. Među prve spada naelektrisana kiša ili munje dok među drugim najveću opasnost su predstavljali: radio-komunikacione veze, pražnjenje dalekovoda i industrija gde se upotrebljavaju uređaji za grejanje koji izračunjuju radio-talase. Zbog toga je bilo odlučeno da se signal beleži u toku bar nekoliko minuta za svaki posmatrački deo neba a da se analiza zapisa obavi ručno. U tom slučaju posmatrač odnosno analitičar može, pošto je stekao potrebno iskustvo, da na osnovu dovoljno dugog zapisa da oceni koje podatke treba odbaciti.

3.1.2. Posmatrački program

Glavni i najveći deo posmatračkog programa se sastojao u merenju antenskih temperatura u tačkama koje čine mrežu dovoljno gustu da se iz nje može pravilno izvući raspodela temperatura odnosno sjaja po nebu.

Prema teoremi koja se odnosi na gustinu uzoraka, a koju su izveli Brejsuel i Roberts (Bracewell and Roberts 1954) raspodela sjaja koja se može izučiti datim instrumentom je

potpuno određena merenjima u tačkama koje su udaljene jedna od druge za odstojanje ne veće od $\psi_c = 1/2 S_c^{-1}$, gde je S_c granična prostorna frekvencija a ψ_c karakterističan interval teleskopa. Za dijagram čiji glavni list ima 3-db širinu oko 8° , tačke moraju biti udaljene oko 4° .

Pošto je bilo najekonomičnije teleskop klatiti u ravni meridijana za $A = 0^\circ$ i puštati da nebo samo prodje, sledeći redosled posmatranja je bio usvojen. Teleskop je uporedo posmatrao samo po dva susedna paralela razmaknuta 5° , i to se prvo zadržavao na jednom 8 minuta a zatim prelazio na sledeći gde je opet posmatranje trajalo 8 minuta, zatim se opet vraćao na prvi i t.d. Na taj način dobijena su merenja u tačkama razmaknutim $4^\circ (16^m)$ po rektascenziji a 5° po deklinaciji.

Pored ovog glavnog programa načinjeno je i nekoliko brzih merenja duž dvanaest vertikalna. Ideja je bila da se oni, ukoliko bi zatrebalo, upotrebe za medjusobno povezivanje posmatranja na raznim deklinacijama.

Sem toga, načinjeno je i nekoliko brzih posmatranja duž izabranih dnevnih paralela.

Analiza posmatranog materijala je pokazala da su osnovni nivo pregleda i relativne osetljivosti bile srazmerno stabilne. Često merenje tih veličina u toku posmatranja je dalo pouzdan sistem reference. Zbog toga su merenja duž vertikalna i brza merenja duž izabranih paralela, posle odbacivanja onih sa smetnjama, mogla da se koriste kao nezavisni podaci. Oni su naročito korisno poslužili za popunjavanje procepa u posmatranju.

S vremena na vreme teleskop je bio naperen na severni nebeski pol koji je izabran da bude referentna tačka pregleda. To se radilo radi provere rada uredjaja.

Nekoliko posmatranja, onih najviših deklinacija, izvedeno je sa teleskopom učvršćenim u azimutu za $A=180^{\circ}$.

3.1.3. Posmatranja

Posmatranja su obavljena u dva navrata: u januaru 1967. i krajem aprila i početkom maja 1967.

U januaru je radio-teleskop bio raspoloživ u toku celog dana, sem u vreme svakodnevnog dvočasovnog pregleda uređaja. U aprilu i maju posmatralo se isključivo noću, jer su tada već počeli radovi na rekonstrukciji paraboloida. Pokazalo se da su dnevna merenja često bila loša zbog smetnji koje su stvarala industrijska postrojenja i zbog komunikacionih signala odbijenih od jonosfere. U zoru je dolazilo do nagle promene u jonosferi što se očitavalo na zapisima kao loš kvalitet posmatranja.

Posmatrački postupak je bio veoma jednostavan. Tokom glavnog programa teleskop je menjao visinu svakih 8 minuta prelazeći sa jednog na drugi paralel naizmenično. Dužnost posmatrača je bila da pazi da struju šuma diode održava blizu ravnoteže sa signalom iz antene. Česta promena struje je bila potrebna u vreme prolaska Mlečnog Puta, dok je u ostalim delovima neba promena vršena samo s vremena na vreme. Dužnost posmatrača je bila da upisuje vrednosti srednje struje diode, deklinaciju i zvezdano vreme.

Brzo i često beleženje je bilo neophodno za vreme brzih merenja duž vertikalna i dnevnih paralela.

Najveći deo neba je posmatran više puta tokom svakog
matračkog roka.

3.1.4. Smetnje

Najveći problem za rad na 38 MHz jesu smetnje, kako ve-
ne za meteorološke pojave tako i za razne uređaje.

Smetnje su više pogodile januarska posmatranja, što se
moglo očekivati jer su obavljena i tokom obdanice kada je
industrijskih smetnji više i što do varničenja na dalekovodi-
a češće dolazi prilikom vlažnog i hladnog vremena koje zimi
reteže.

Jaki kontinuirani signali poreklom od komunikacionih
uređaja su omeli posmatranje samo u toku dva dana; po jednom
svakom roku. Ta posmatranja su odbačena. Iskustvo stečeno
tokom analize podataka govori da u iskorišćenim podacima ni-
je bilo komunikacionih signala čiji bi period stalne prisut-
nosti bio kraći od mesec dana, niti koji bi bio jači od 10%
ukupnog signala.

Izvor smetnji od industrijskih grejnih uređaja se nala-
zio na severu od Džodrel Benka i imao maksimum na 38,15 MHz,
što je protivzakonito .

3.2. Obrada posmatranja

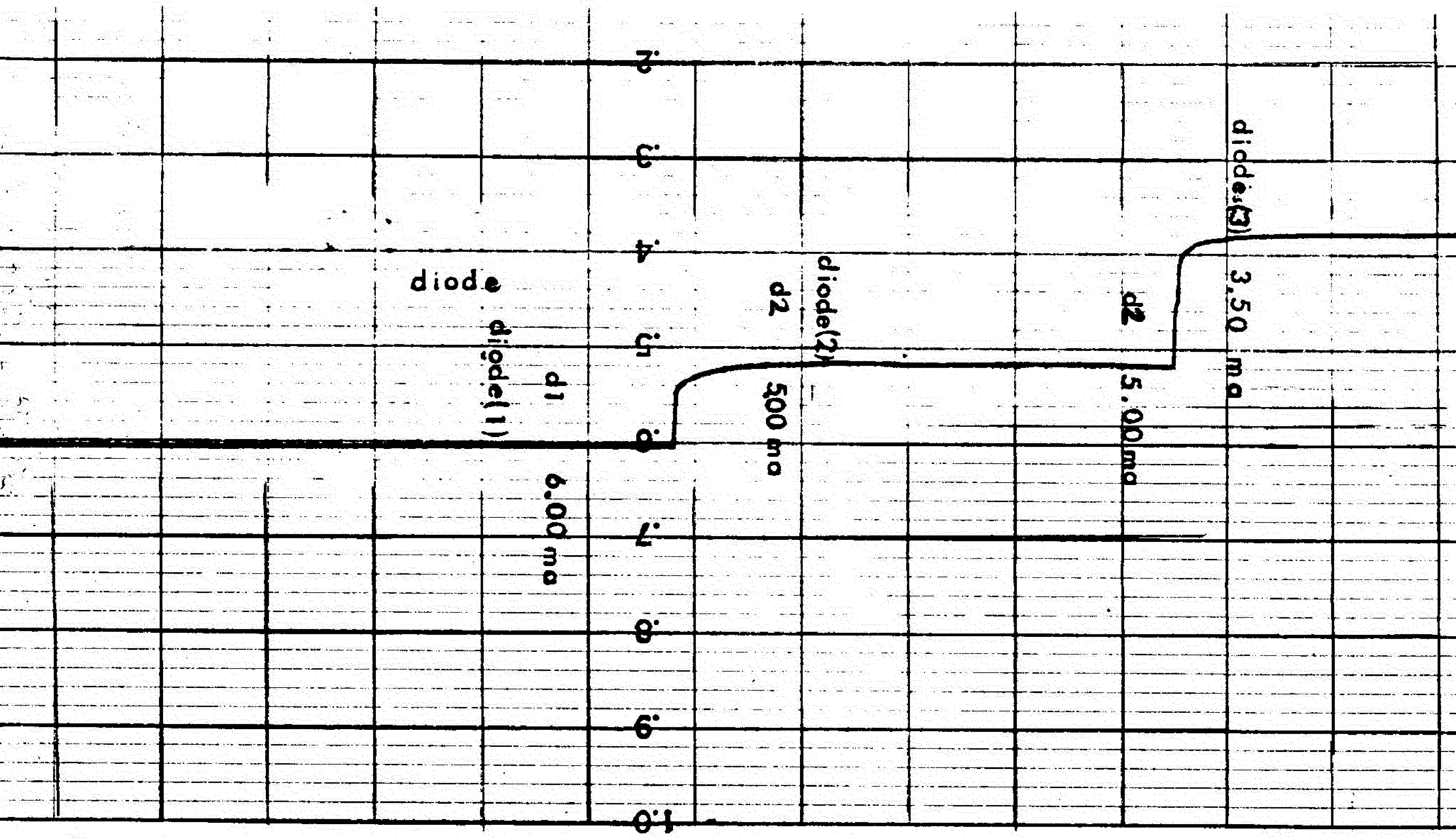
Obrada posmatranja je obavljena u pet koraka. To su b

- 1) analiza zapisa,
- 2) izračunavanje osnovne matrice antenskih temperatura
- 3) crtanje karata na osnovi te matrice,
- 4) izračunavanje uticaja apsorpcije i pratećih efekat
- 5) crtanje karata na osnovi matrice antenskih tempera
ispravljenih za apsorpciju i prateće efekte.

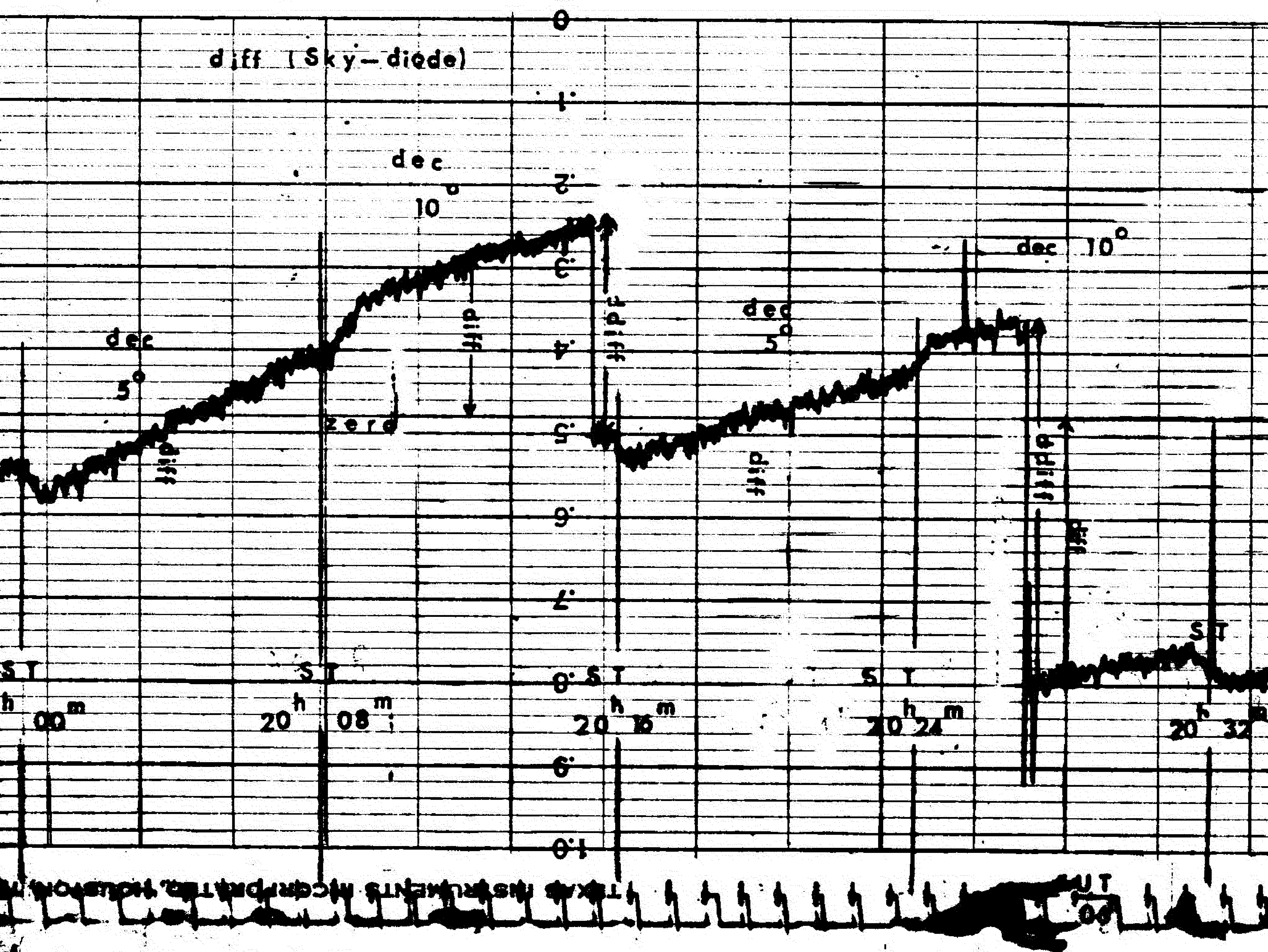
3.2.1. Analiza zapisa

Osnovni posmatrački materijal bila je papirna traka r
kojoj su bile zapisane srednja struja šum-diode i razlika
između srednje struje šuma neba i šuma diode. Još tokom p
smatranja su na traku upisivane deklinacije na kojima se v
smatralo, a povremeno i zapisivalo zvezdano vreme. Kasnije
stolom, te su oznake unete na svim trakama i proverene su
na automatskom zapisu položaja teleskopa.

Na slici 19. je data fotokopija jednog isečka trake



2nd 1967



Slika 19. Primer zapisa

Priložena fotokopija trake je tipičan primer zapisa merenja radio-zračenja obavljenih za pregled neba na 38

Gornji deo trake pokazuje zapis srednje struje šum-potrebne da se prijemnik održava blizu ravnoteže. Taj zapis je obeležen sa diode (k). Pojedinačne vrednosti struje obeležene sa d_1 , d_2 i d_3 i date u miliamperima. Vremenske oznake date u jedinicama zvezdanog vremena (st) vide se donjem delu donje polovine trake. Nulti nivo koji odgovara odsustvu signala iz fazno-osetljivog detektora je obeležen sa "zero". Izlazni signal iz prijemnika se vidi na donjoj polovini trake kao fluktuirajući stepenasti zapis. Svaki stepenik odgovara jednoj deklinaciji. Vrednosti deklinacije date pored svakog stepenika. Zvezdano vreme daje neposredno rektascenziju pošto su merenja vršena sa teleskopom fiksnim u azimutu $A = 0^\circ$.

Izlazni signal koji je ustvari jednak razlici srednje struje šuma koja dolazi od šum-diode označen je sa "diff".

Skok na zapisu uzrokovan promenom struje šum-diode označen je "ddiff".

U slučaju da je sjaj neba na obe deklinacije bio istog stepeničast oblik zapisa bi bio odsutan. U tom slučaju samo jedno po oznakama može jedna deklinacija razlikovati od druge.

Pošto je teleskopu bilo potrebno oko 1 minuta da se pomeri za 5° po deklinaciji, svaki stepenik zapisa koji se odnosi na jednu deklinaciju ima raspoloživih 6^m posmatranja neba. Teorijski je svejedno na kom mestu zapisa će se vrednost određivati. Praktično, najbolje je čitati na srednjem delu stepenika jer:

1) Srednji deo zapisa se može rekonstruisati ako ga je neka nagla smetnja pokvarila,

2) Teleskop se sigurno stabilizovao u tom položaju.

Praktično, čitanje se vršilo 4^m posle znaka za zvezdano vreme i to u jedinicama uslovne skale odštampane na samoj traci. Od te pročitane vrednosti se oduzimala vrednost nultog nivoa ("zero"), očitano u istim jedinicama. Pošto je u pitanju signal koji ima karakteristike šuma, čitanje se vršilo po liniji u odnosu na koju se zapis podjednako kolebao.

Prijemnik je bio podešen tako da se nulti nivo menjao blizu sredine donjeg dela trake. To je učinjeno stoga što su se delovi neba gde se sjaj ne menja u velikom iznosu od tačke do tačke mogli posmatrati bez promene struje diode, odnosno bez budne kontrole od strane posmatrača. U oblasti Severne Polarne Petlje i galaktičke ravni struja diode je morala biti često menjana. To se činilo ručno, prema potrebi u vremenskim razmacima od oko 20 minuta. Očitavani su u prvom redu zapisi na kojima nije bilo zapaženo prisustvo smetnji, zatim zapisi gde su se smetnje lako mogle uočiti i obračunati, a tek na kraju zapisi sa znatnim smetnjama.

Uz svako očitavanje stavljena je i oznaka kvaliteta ocenjenog po izgledu zapisa.

Sa zapisa koji je ocenjen da je upotrebljiv, očitavani su d_1 , d_2 , diode (k), ddiff, diff(k), zero, st i dec. Iz njih su izračunavane prvo ravnotežne struje šuma a zatim antenske temperature.

Poređenje dobijenih vrednosti za istu tačku neba u raznim danima dozvoljavalo je sticanje iskustva u ocenjivanju

kvaliteta posmatranja na osnovu izgleda zapisa. Oni najlošiji su odbačeni odmah posle poredjenja.

Išlo se za tim da se uzmu najbolja posmatranja s tim što se nisu mogla izbeći i ona lošijeg kvaliteta u oblastima gde su to bila jedina posmatranja. Takvih oblasti srećom bilo mnogo niti su bile velike.

Pri poredjenju se ponekad morala primenjivati i interpolacija jer su se merenja iz različitih dana odnosila na bliske ali ne na iste tačke neba. Interpolacija je bila linearna ako su tačke bile bliske a višeg reda ako su tačke bile razmaknute.

3.2.2. Izračunavanje osnovne matrice antenskih temperatura

Pošto zbog samog načina posmatranja merene vrednosti nisu činile pravilnu pravougaonu mrežu tačaka, bilo je potrebno prvo izračunati ravnotežne struje antene, odnosno antenske temperature u posmatranim tačkama a zatim ih preračunati na pravilnu pravougaonu matricu. Samo sa takve matrice se pomoću računara mogao dobiti konačan željeni oblik predstavljanja merenja u vidu karte izofota.

3.2.2.1. Izračunavanje ravnotežne struje šuma. - Ravnotežna struja šuma je srednja struja šuma diode koja bi savršeno uravnotežavala šum koji potiče od neba, odnosno antene. U slučaju dobro uravnoteženog sistema, promene pojačanja koje se neminovno javljaju u prijemniku nisu od uticaja na merenja

signal. Obeležimo tu ravnotežnu struju sa "antena" a neka sa "diode" bude obeležena srednja struja šum-diode koja je u stvarnosti približno uravnotežavala nebo i čije se vrednosti očitavaju na gornjem delu zapisa. Tada je

$$\text{antena} = \text{diode} + \text{diff} \times \text{cal}, \quad 3.1.$$

gde je "diff" razlika između srednje struje šuma neba i struje šum-diode u uslovnim jedinicama skale na traci. Kalibracioni faktor cal pretvara te uslovne jedinice u jedinice u kojima se izražava struja. On se, kako to očevidno sledi, određuje iz koraka koji nastaje kada se struja diode promeni. Dakle

$$\text{cal}(k) = \frac{\text{diode}(k) - \text{diode}(k-1)}{\text{diff}}. \quad 3.2.$$

Veličina "diff" ukoliko se čita direktno sa skale mora pre unošenja u gornji izraz biti umanjena za iznos nultog nivoa, tako da odgovara oznaci na slici 19.

Ovako izračunata ravnotežna struja se razlikuje od prave vrednosti zbog postojanja gubitaka u kablovima, preklopniku i filteru.

3.2.2.2. Izračunavanje antenskih temperatura. U idealnom prijemnom sistemu antenske temperature bi se mogle izračunati neposredno iz izraza 2.1. izvedenog u glavi 2.2.5.

$$T = \left(1 + \frac{eIR}{2kT_0} \right) T_0,$$

odnosno posle zamene vrednosti $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C,

$k = 1,3805 \times 10^{-23}$ J/K i $T_0 = 290$ K.

$$T = (20 IR + 1) T_0 . \quad 3.3.$$

Za otpornik od 50Ω

$$T = (1000 I + 1) T_0 ,$$

odnosno

$$T = (I_{mA} + 1) T_0 , \quad 3.4.$$

gde je I_{mA} srednja struja izražena u miliamperima.

Ako je $I_{mA} \gg 1$

$$T = I_{mA} T_0 . \quad 3.5.$$

Pošto je nebo veoma sjajno na 38 MHz, to je ovaj izraz pogodan za primenu u ovom radu.

Prelaz sa idealnog na realan slučaj se ostvaruje korišćenjem kalibracionih faktora sistema opisanih u glavi 2.3. Pošto su sve kalibracione prave prolazile kroz koordinatni početak to je bilo potrebno naći samo po jedan konverzioni faktor za svaki posmatrački rok i za svaku vrednost prigušenja

I_{mA} u izrazu 3.1. je ustvari srednja struja šum-diode D sa otpornikom od 50Ω kada bi dioda bila postavljena u fokusu. Ono što je ustvari dobijeno sa zapisa je ravnotežna struja koju je davala dioda A sa otpornikom od 200Ω nalazeći se na mestu poredbenog izvora šuma.

Očevidno je da je u odsustvu prigušivača

$$\frac{I_{Dofocus}}{I_{AO}} = \frac{I_{DO}}{I_{AO}} \frac{I_{AO}}{I_{BO}} \frac{I_{BOfocus}}{I_{AO}} ,$$

gde su sve oznake iste kao i u glavi 2.3.

Za pripušćenje od 3db i 10db

$$\frac{I_{D3dbfocus}}{I_{AO}} = \frac{I_{DO}}{I_{AO}} \frac{I_{AO}}{I_{BO}} \frac{I_{BOfocus}}{I_{AO}} \frac{I_{B3db}}{I_{AO}} \frac{I_{AO}}{I_{BO}},$$

i

$$\frac{I_{D10dbfocus}}{I_{AO}} = \frac{I_{DO}}{I_{AO}} \frac{I_{AO}}{I_{BO}} \frac{I_{BOfocus}}{I_{AO}} \frac{I_{B10db}}{I_{AC}} \frac{I_{AO}}{I_{BO}}.$$

Usvajajući kraće oznake

$$I_{DO focus} = K_4 K_3 K_0 I_{AO},$$

$$I_{D3db focus} = K_4 K_3 K_0^2 K_1 I_{AO},$$

$$I_{D10db focus} = K_4 K_3 K_0^2 I_{AO}.$$

Prema jednačini 3.1. za januarski posmatrački rok antenske temperature koje ovim strujama odgovaraju su respektivno.

$$T' = K_4 K_3 K_0 I_{AO} T_0,$$

$$T'' = K_4 K_3 K_0^2 K_1 I_{AO} T_0,$$

$$T''' = K_4 K_3 K_0^2 K_2 I_{AO} T_0.$$

Zamenom brojnih vrednosti dobijeno je

$$T' = 2422 I_{AO} \pm 1,58\% \quad 3.6.$$

$$T'' = 4989 I_{AO} \pm 1,69\% \quad 3.7.$$

$$T''' = 25\,460 I_{AO} \pm 1,60\% \quad 3.8.$$

Za posmatranja u aprilu i maju je na isti način dobijen

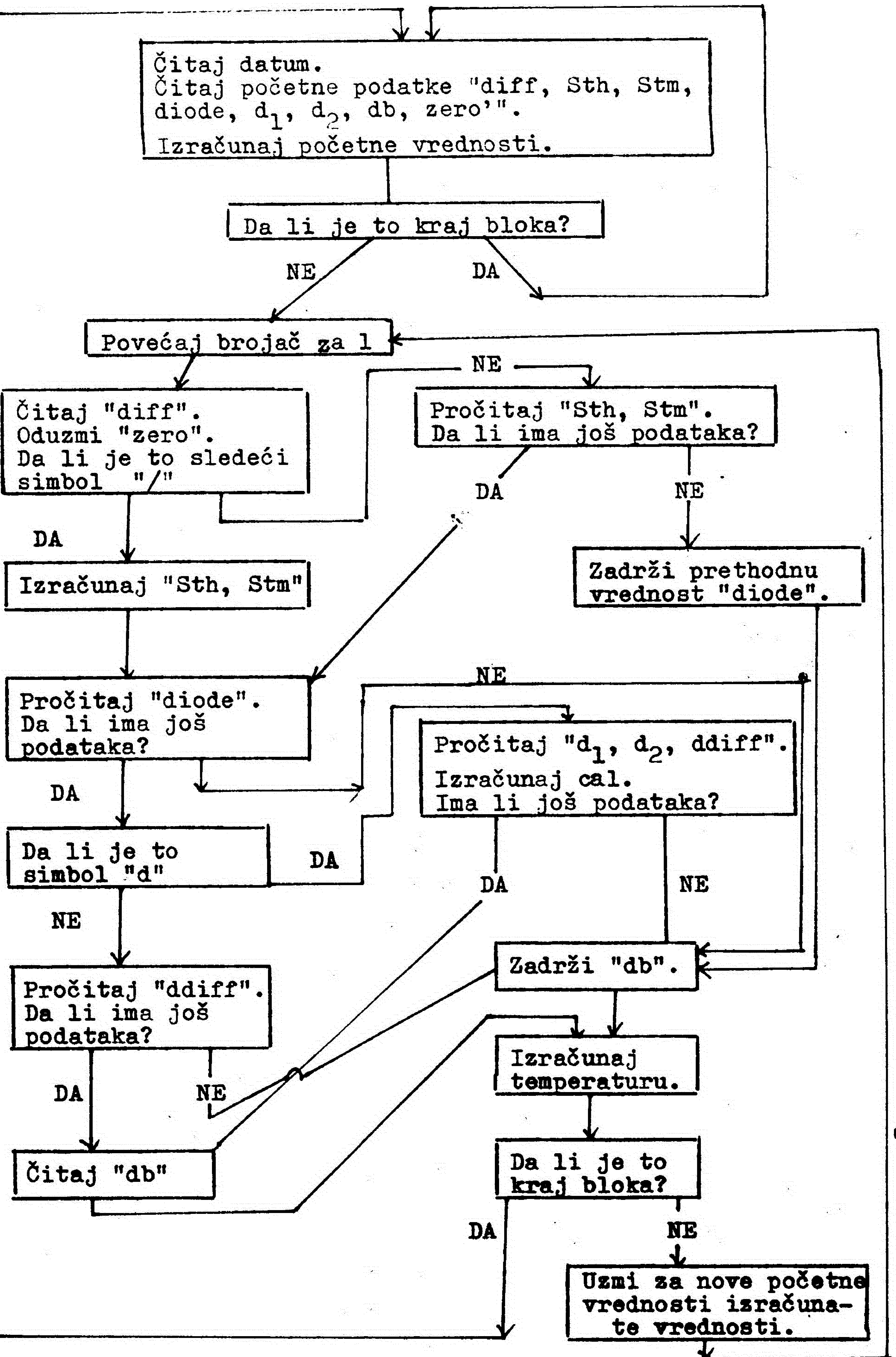
$$T' = 3123 I_{AO} \pm 2,77\% \quad 3.9.$$

$$T'' = 6344 I_{AO} \pm 3,87\% \quad 3.10.$$

Ove jednačine (3.6. - 3.10) su bile one koje su neposredno korišćene za izračunavanje temperature iz vrednosti ravnotežne struje I_{AO} . Ova ravnotežna struja je izračunavana pomoću jednačine 3.1. i 3.2. a iz podataka očitanih sa zapis

Svi ovi računi su obavljani na računaru Mančesterskog univerziteta "Atlas" koristeći računski jezik Atlas Autocode donekle sličan Fortranu, a prema programu napisanom od strane autora ove teze. Podrobnosti u vezi sa tim programom su date u magistarskoj tezi autora (Milogradov-Turin, 1972b). Podatke je autor izbušila na 7-kanalnoj traci jer je to bio sistem računara "Atlas". Idejni dijagram programa je dat na slici 20.

Ovaj pregled je bio jedan od poslednjih poslova u Džodrel Benku koji se nisu potpuno automatski zapisivali.



Sl.20. Blok šema programa primarne analize podataka.

3.2.2.3. Izračunavanje matrice antenskih temperatura

Mereni podaci nisu činili pravilnu pravougaonu mrežu jer su

a) zbog samog načina posmatranja, tačke jedne deklinacije pomerene u odnosu na tačke druge deklinacije 8^m po rektascenziji,

b) posmatrački podaci iste deklinacije ali iz različitih dana nisu uvek dobijeni za iste rektascenzije iz čisto tehničkih razloga.

Pravilna mreža je, međjutim, potrebna zato što je jedino takva pogodna za crtanje karata na računaru. Sem toga mnogo je lakše raditi sa pravilnom mrežom.

Postupak koji je u ovom radu usvojen za dobijanje pravilne mreže bio je konvolucija posmatračkih podataka odgovarajućom **težinskom** funkcijom. Ovakav izbor je načinjen stoga što taj postupak odgovara onome što se stvarno događa kad se teleskopom posmatra nebo. Dovoljno je bilo konvoluciju izvršiti jednodimenzionom funkcijom jer su podaci bili neravnomerno raspoređeni samo po deklinaciji.

Prirodna je želja da se i posle obrade sačuvaju sve informacije koje su bile prisutne na početku. Sve Furijeove komponente raspodele temperature po nebu bile bi sačuvane ako bi se konvolucija vršila pomoću funkcije $\sin(ax)/(ax)$ duž svakog dnevnog paralela. Prema osnovnoj teoremi konvolucije Furijeov transform rezultujuće funkcije jednak je proizvodu Furijeovih transformisanih funkcija. Furijeov transform se naziva i amplitudna karakteristika Furijeove transformacije.

Furijeov transform funkcije $\sin(ax)/(ax)$ je tzv. $\Pi(0, Sc)$ funkcija čija je vrednost u željenom intervalu $(0, Sc)$ jednak 1 a van njega 0. Proizvod te karakteristične funkcije intervala $(0, Sc)$ i spektralne karakteristike Furijeove transformacije zadržava sve Furijeove komponente unutar intervala prostornih frekvenci $(0, Sc)$. One prostorne frekvence koje bi bile odsečene bile bi one koje potiču od šuma prijemnika i koje nisu ni poželjne.

Prema teoremi Brejsuela i Roberta (Bracewell and Roberts 1954), Furijeove komponente veće prostorne frekvence od granične frekvence Sc za dati teleskop ne mogu se tim teleskopom ni dobiti. $\Pi(0, Sc)$ funkcija, odnosno $\sin(ax)/(ax)$ se nije pokazala najpogodnijom u ovom radu, jer nije davala dovoljnu numeričku tačnost u oblastima gde su posmatranja bila proredjena.

U ovom radu za konvolucionu krivu je uzeta Gausova kriva čija je širina na polovini visine iznosila 2° . Njen analitički izraz se može napisati kao $W(x) = \exp(-(47,71x)^2)$ gde je x ugao izražen u radijanima. Glavni list dijagrama Mark I teleskopa mogao se isto dobro predstaviti Gausovom funkcijom $V(x) = \exp(-(11,9x)^2)$ što je olakšalo razmatranje samog procesa i njegovih posledica. Naime, posmatrana raspodela temperatura je već konvolucija prave raspodele po nebu i funkcije dijagrama usmerenosti antene. Amplitudna karakteristika prostornih učestanosti - Furijeov transform posmatrane raspodele je proizvod Furijevog transform prave raspodele i transform dijagrama usmerenosti. Ako se ograničimo samo na glavni list, što i jeste najznačajnije, za transform ćemo

dobiti Gausovu krivu čija je širina ista kao i širina glavnog lista . Ovo stoga što je Furijeov transform Gausove funkcije širine S opet Gausova funkcija širine S . Konvolucija posmatrane raspodele novom Gausovom funkcijom dovodi do množenja Furijeovog transformata posmatrane raspodele transformom te Gausove funkcije. Stoga se tu javlja proizvod prve Gausove funkcije koji je opet Gausova funkcija, čija je širina na polovini visine

$$S' = \sqrt{S_p^2 + S_k^2} ,$$

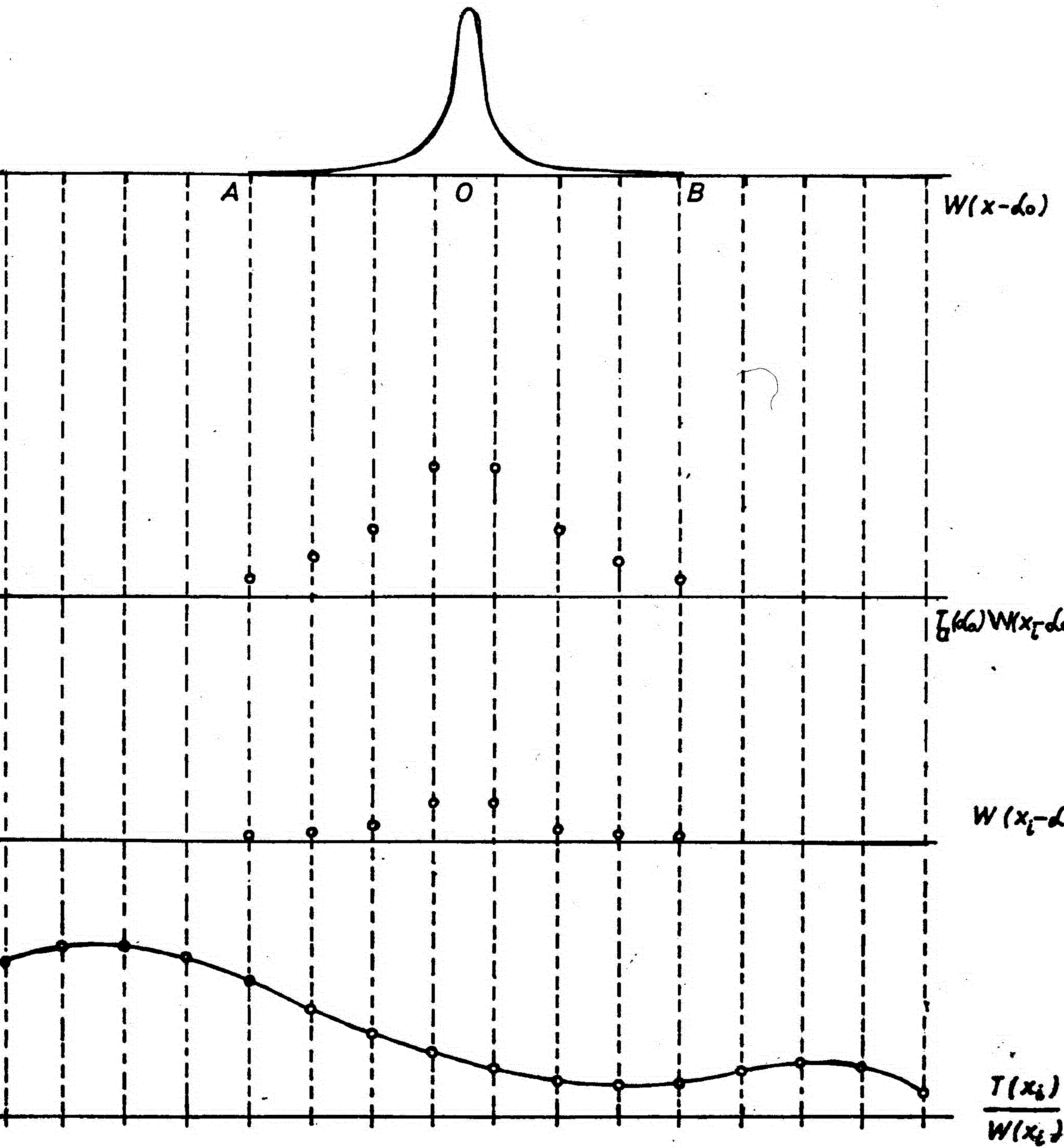
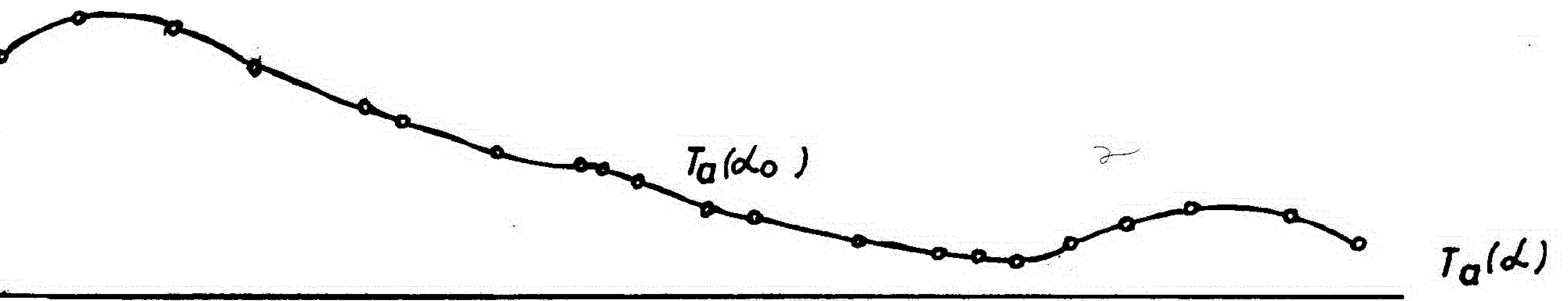
gde su S_p i S_k širine na polovini visine transformata glavnog lista i transformata konvolucione funkcije, respektivno.

Drugim rečima sada je Furijeov transform prave raspodele pomnožen Furijeovim transformom efektivnog glavnog snopa. U suštini to je ekvivalentno posmatranjima sa proširenim glavni snopom.

Nadjeno je da konvolucija Gausovom funkcijom čija je 3-db širina 2° , daje zadovoljavajuće rezultate u formiranju matrice a da istovremeno čini efektivni snop svega oko $1/4^\circ$ širi od početnog.

Pošto su za sve karte i sva istraživanja korišćeni podaci iz konvoluirane matrice, to je pravilno reći da su te karte imale razdvojnu moć od $8^\circ 1/4$ po deklinaciji a $7^\circ 1/4$ po rektascenziji.

Sama konvolucija je izvedena uz pomoć računara. Pošto je težinska funkcija veoma brzo padala do veoma malih vrednosti, u računu nije uzimano da se ona prostire dalje od $1^h 20^m = 0,3491$ radiana.



Slika 21. Šema konvolucionog procesa.

Sama konvolucija $U(x)$ dveju spregnutih funkcija $V(x)$ i $W(x)$ je

$$U(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} V(\alpha) W(x - \alpha) d\alpha,$$

ili simbolički

$$U(x) = V(x) * W(x).$$

(vidi na pr. Brejsuelovu knjigu (Bracewell 1965)).

Za računar je pogodnije obaviti konvoluciju ne prema ovoj definiciji direktno već prema predlogu Haslama (Haslam 1962). Ova ideja je prikazana na slici 21, a sastoji se u sledećem. Težinska funkcija se centriše na svaku tačku u kojoj postoje posmatranja. U svakom od tih položaja čvornim tačkama matrice se dodaje proizvod težinske funkcije u tim tačkama i temperature tačke u kojoj je merenje izvršeno. i na koju je težinska funkcija centrisana. U posebnu matricu sa istim brojem čvorova, dodaju se upotrebljene vrednosti težinske funkcije, svaka odgovarajućoj čvornoj tački.

Drugim rečima, posle centrisanja na tačku sa rektascenzijom α_0 u kojoj je antenska temperatura $T_a(\alpha_0)$, u matrici temperatura u čvornoj tački α_i biće vrednost $T_a(\alpha_0) W(x_i - \alpha_0)$ a u matrici težina, u tački x_i biće $W(x_i - \alpha_0)$.

Pošto se težinska funkcija postavi u svakoj merenoj tački na kraju će u tački x_i biti vrednost

$\sum_j T_a(\alpha_j) W(x_i - \alpha_j)$ gde je j broj merenih tačaka.

Željena temperatura u čvornoj tački x_i će biti

$$t_a(x_i) = \frac{\sum_j T_a(\alpha_j) W(x_i - \alpha_j)}{\sum_j W(x_i - \alpha_j)}. \quad (3.12)$$

Sam račun je obavljen na računaru "Atlas" prema programu koji je autor teze napisala. Posebne matrice antenskih temperatura su bile načinjene za svaki posmatrački rok.

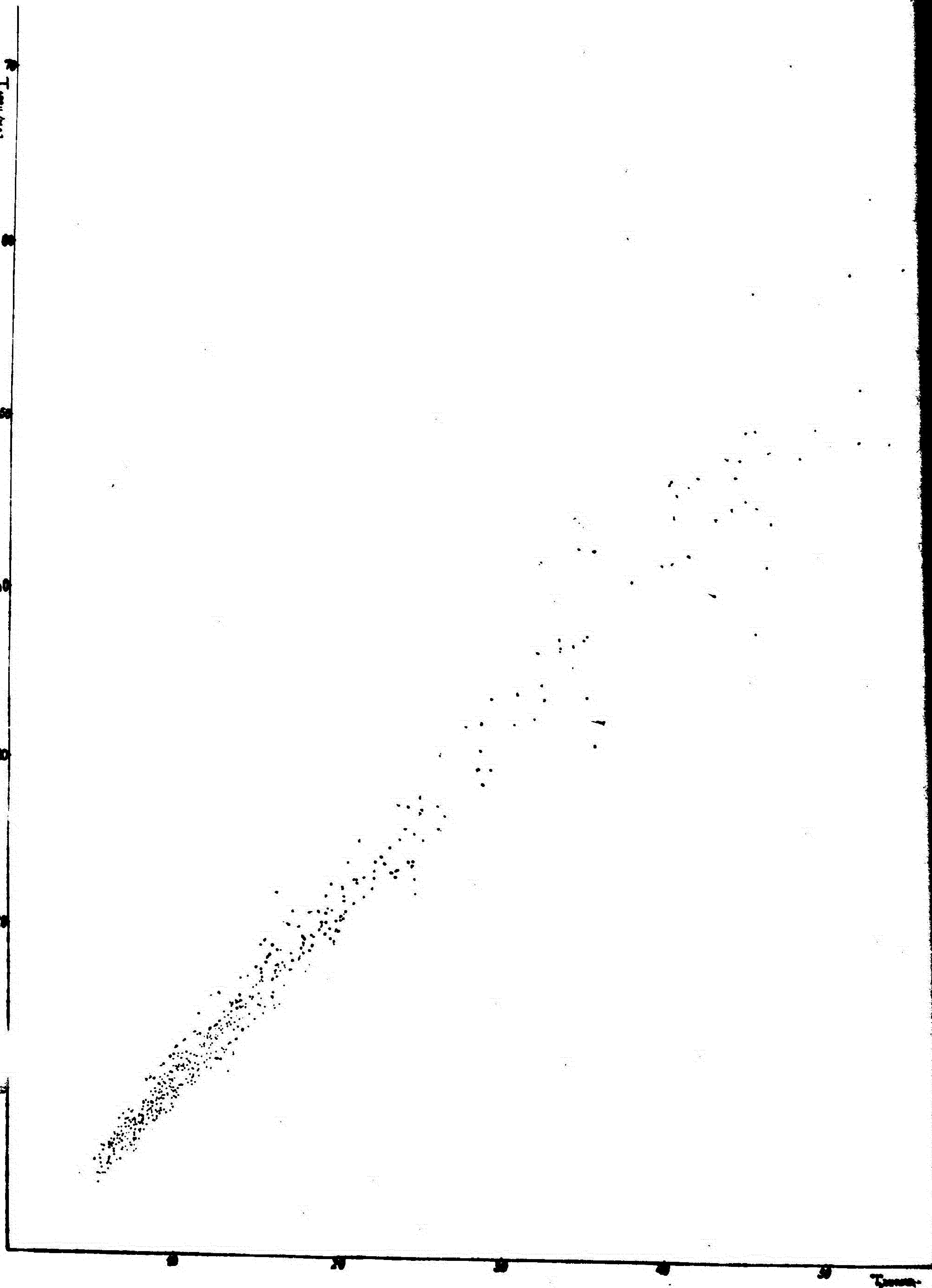
Dobijeni rezultati su davali mogućnost da se najzad izvrši stvarno poredjenje januarskih podataka i onih iz aprila i maja, jer su se izračunate vrednosti odnosile na čvorne tačke istih koordinata, unutar zajedničkih 12^h rektascenzije. Grafički prikaz temperatura iz dva posmatračka roka je dat na slici 22. Svaka tačka na grafiku odgovara jednoj čvornoj tački matrice za koju su obe temperature bile pouzdano izračunate. Radi sigurnosti nisu uzimane čvorne tačke u blizini procepa jer bi takve vrednosti mogle dati nerealnu sliku. Metodom najmanjih kvadrata je dobijena za koeficijent prave sa slike 22. vrednost

$$a = 1,148 \pm 0,005 \quad (3.13)$$

Odsečak je bio ravan nuli unutar granica greške.

Činjenica da su aprilske temperature više od januarskih nije bila iznenadjujuća, jer se već znalo da je u aprilu kalibracija bila manje pouzdano izvedena kada se radilo o poredjenju diode sa otpornikom od 200Ω i diode sa otpornikom od 50Ω (vidi 2.2.5.). Usvojeni koeficijent m_4 je imao zato karakter privremenog rešenja.

Kao konačno rešenje usvojeno je da se sve tabularne aprilske antenske temperature podele sa 1,148. Tako umanjene one su množene sa odgovarajućom tabularnom vrednošću težinske funkcije i dodavane proizvodu tabularnih januarskih tempera-



Slika 22. Grafik antenskih temperatura u januarskoj i aprilsko-majskoj grupi merenja. Jedinice su 1000 K.

tura i njima odgovarajućih vrednosti težinske funkcije. Vrednosti tabularnih težinskih funkcija iz oba roka su sabrane posebno. Krajnje vrednosti tabularnih antenskih temperatura su bile

$$t_{ak}(x_i) = \frac{\sum_i t_a(x_i) W(x_i)}{\sum_i W(x_i)} \quad (3.14.)$$

Sam račun je izvršen na računaru "Atlas" prema programu autora ove teze.

Veoma slična vrednost količnika aprilskih i januarskih podataka je dobijena iz merenja severnog nebeskog pola (SNP). U januaru je antenska temperatura severnog nebeskog pola, kao reperne tačke, merena 37 puta. Vrednosti su sledile normalnu raspodelu pa je odatle izračunata ova srednja vrednost i standardna greška srednje vrednosti

$$T_{SNP} = (9,09 \pm 0,06) \times 10^3 \text{ K} .$$

Standardna devijacija je 350 K.

Treba, medjutim, podvući da se ta greška mora shvatiti samo kao merilo unutrašnjeg slaganja merenja.

U aprilu je antenska temperatura severnog nebeskog pola samo jednom merena. Dobijeno je 10 550 K. Količina aprilske i januarske vrednosti je otuda 1,161. S obzirom da je na aprilskom zapisu severnog nebeskog pola zapaženo prisustvo smetnji, vrednosti dobijene za SNP nisu mogle biti uzete kao presudne pri sastavljanju konačne matrice.

3.2.3. Karte antenskih temperatura

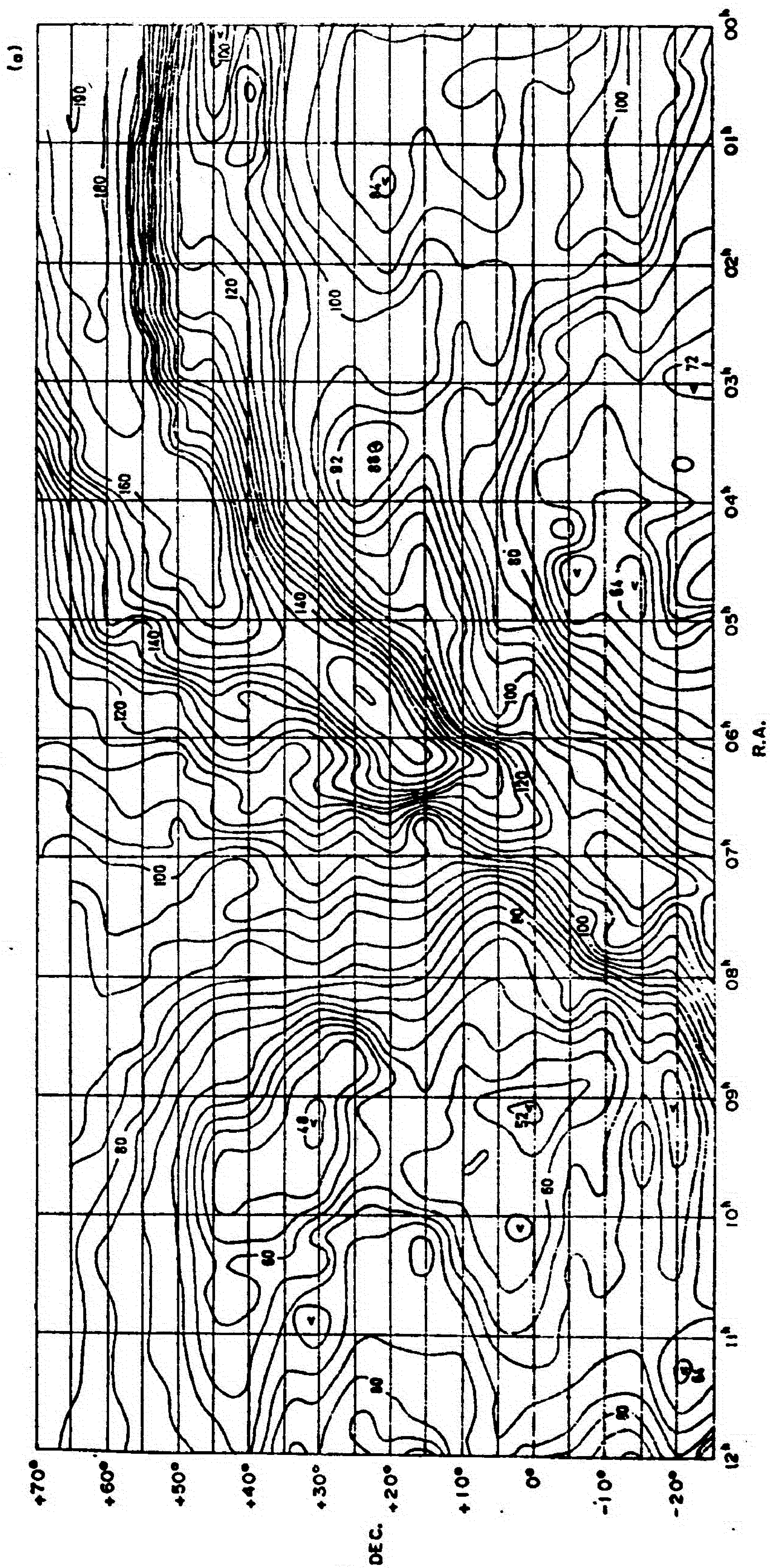
3.2.3.1. Izrada karata antenskih temperatura

Karte antenskih temperatura su nacrtane na osnovu konačne kombinovane matrice antenskih temperatura. Konture su crtane koristeći specijalni program "Compiler NOD2" (Haslam and Salter, 1967). Taj program u osnovi prvo izračunava površinu koja se može provući kroz ordinate - antenske temperature četiri susedna čvora matrice. Zatim se izračunavaju koordinate preseka te površine sa ravni izabrane temperature. Detalji postupka se mogu naći u doktorskoj tezi Haslama (Haslam 1962).

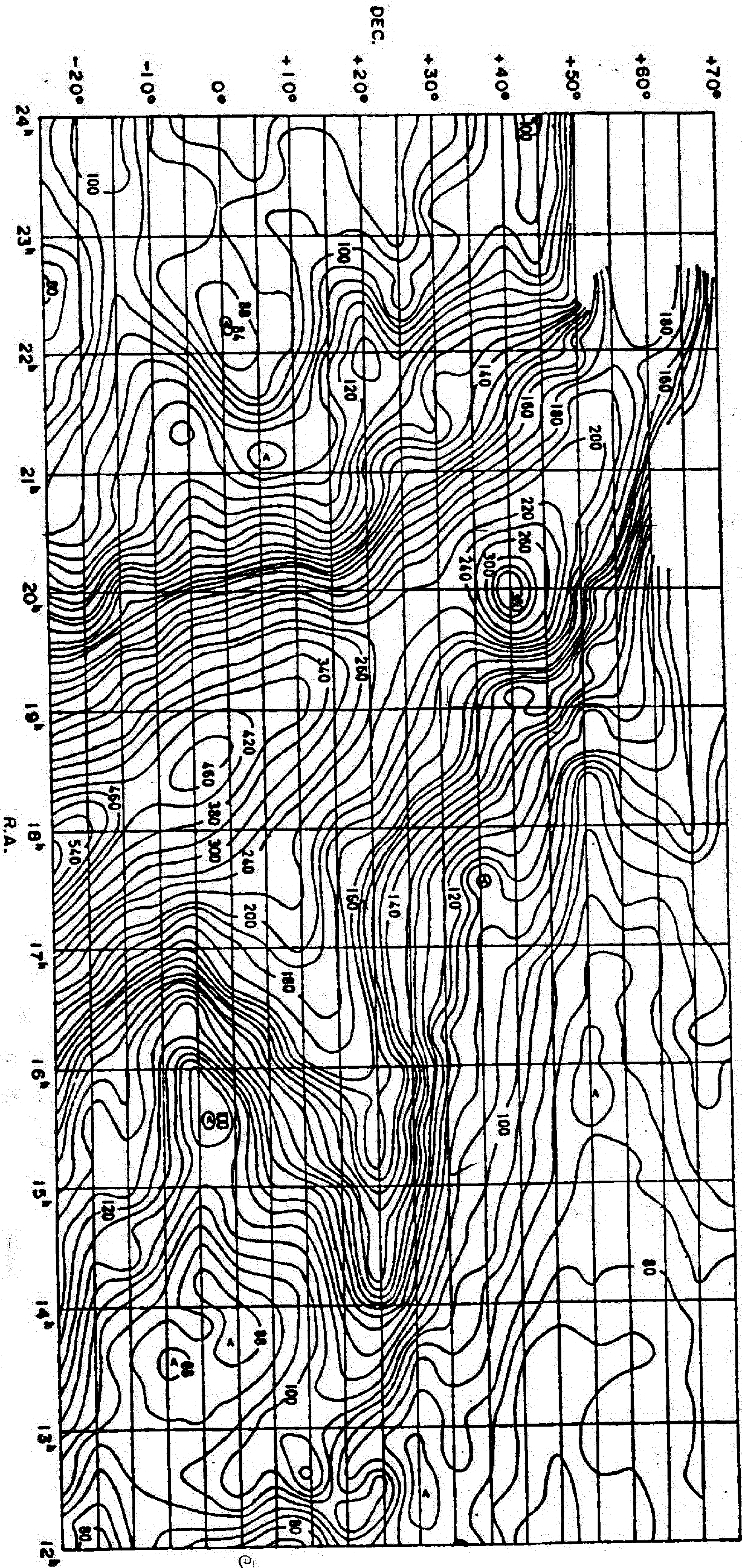
Izrađeno je više karata da bi se dobio podesniji materijal za analizu, i to kako u ekvatorskim tako i u galaktičkim koordinatama. Pokazalo se da je najpodesniji korak između linija bio 400 K. Ta vrednost je najbliža očekivanoj vrednosti greške u hladnijim delovima neba.

Na slici 23a. i 23b. su karte antenske temperature u ekvatorskim koordinatama. Vrednosti su date u stotinama stepeni Kelvina.

Konture su crtane svakih 400 K počevši od najniže temperature (4800 K) pa do 16 000 K. Između 16 000 K i 20 000 K korak je bio 1000 K, između 20 000 K i 26 000 K korak je bio 2000 K, a iznad 26 000 K korak je bio 4000 K. Ovakvi koraci su izabrani zato da bi odražavali pouzdanost karata u odgovarajućim delovima neba. Jedino u oblasti: $3^h < \alpha < 5^h$,

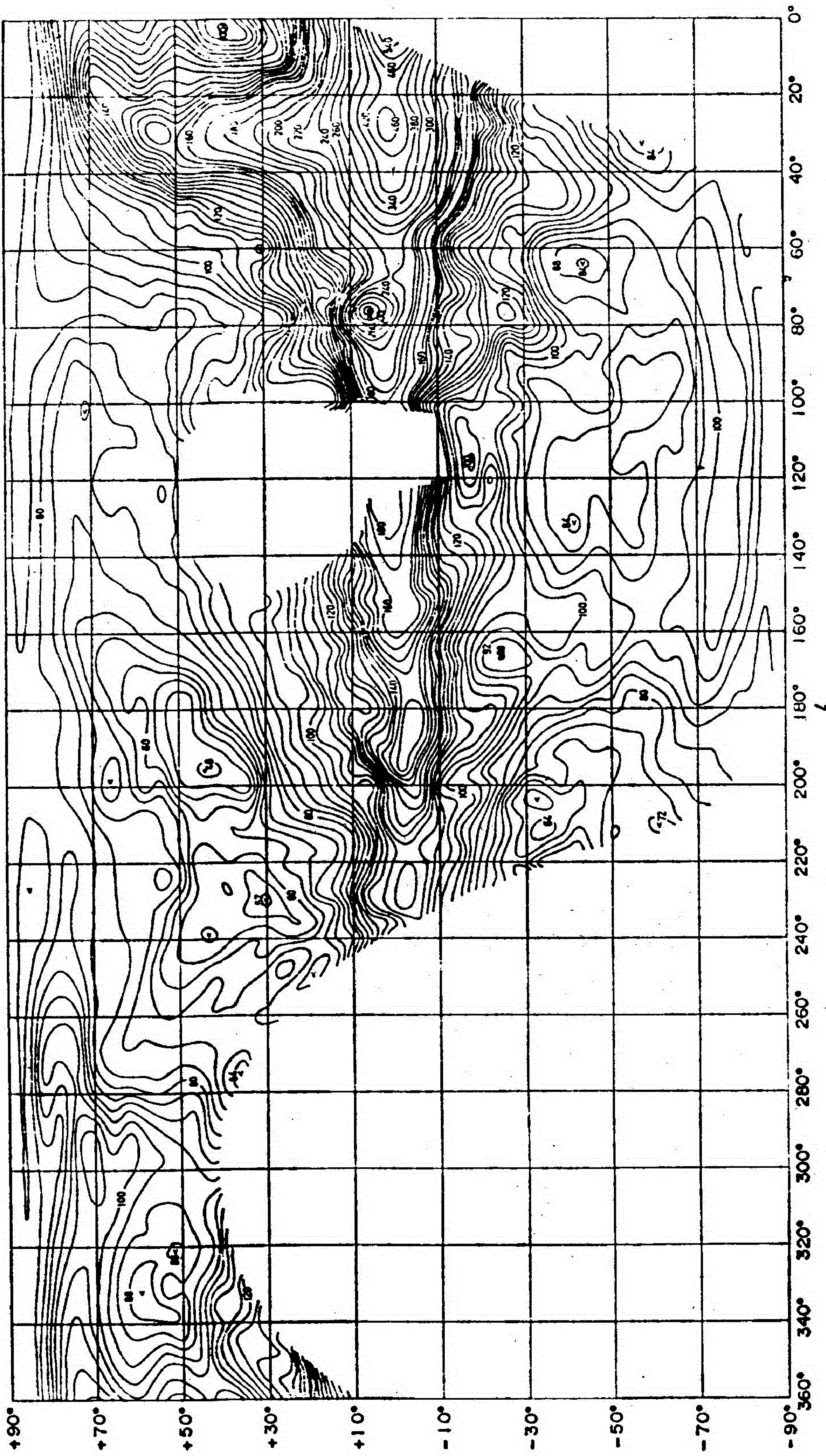


Slika 23a. Karta antenskih temperatura na 38 MHz u ekvatorskim koordinatama. Jedinice su 100 K. Korak kontura je dat u tekstu.



(b)

Slika 23b. Karta antenskih temperatura na 38 MHz u ekvatorskim koordinatama. Jedinice su 100 K. Korak kontura je dat u tekstu.



Slika 24. Karta antenskih temperatura na 38 MHz u galaktičkim koordinatama. Jedinice su 100 K.

Korak kontura je dat u tekstu.

$\delta < 0^\circ$; $0^h < \alpha < 1^h$, $\delta \approx 40^\circ$; $16^h < \alpha < 18^h$, $\delta > 5^\circ$
i $12^h < \alpha < 13^h$, $\delta \approx 15^\circ$, su posmatrački podaci bili lošijeg kvaliteta.

Na slici 24. data je karta antenskih temperatura u galaktičkim koordinatama. Vrednosti su isto date u stotinama stepeni Kelvina.

3.2.3.1. Slučajne greške antenskih temperatura

Procena slučajnih grešaka antenskih temperatura je dobijena iz poređenja merenja iz različitih dana. Uzete su oblasti daleko od Mlečnog Puta, Severnog Polarnog Luka i sjajnih radio izvora. Ako greške merenja slede normalnu raspodelu sa standardnom devijacijom δ , razlike između parova nezavisnih merenja iste tačke biće normalno raspodeljene sa standardnom devijacijom $\sqrt{2}\delta$. U ovom pregledu mnoge tačke su bile merene bar po dva puta. Da bi izračunali standardnu devijaciju razlika, merenja su podeljena u četiri grupe deklinacija navedenih u tablici 1. Unutar svake grupe razlike su bile izračunate u svakoj tački koja je više od jednog puta merena. Iz tih razlika su izračunate standardne devijacije δ i date u tablici 1.

Tabela 1. Greške.

| δ | δ |
|---------------------------------------|----------|
| $-25^\circ \leq \delta \leq -5^\circ$ | 292 K |
| $0^\circ \leq \delta \leq 20^\circ$ | 326 K |
| $25^\circ \leq \delta \leq 45^\circ$ | 270 K |
| $50^\circ \leq \delta \leq 70^\circ$ | 420 K |

Oblasti sa strmim gradijentom i visokim temperaturama su isključene iz razmatranja.

Oblast deklinacija $50 \leq \delta \leq 70^\circ$ je imala svega nekoliko višestruko merenih tačaka pa su u istoj oblasti uzete i tačke iz Mlečnog Puta. Zbog toga je možda standardna devijacija δ veća od drugih. Drugi razlog može biti taj što za $\delta > 53^\circ$, Mark-I teleskop je naperen ka severu gde se nalaze velika industrijska postrojenja. Ispod $\delta \approx 50^\circ$ ne zapaža se primetna zavisnost standardne devijacije od deklinacije.

Srednja vrednost $\bar{\delta}$ za tri donje grupe deklinacija je 300 K. Ova vrednost se odlično slaže sa standardnom devijacijom severnog nebeskog pola (vidi 3.2.2.2.), a koja iznosi 350 K.

Konvolucija opisana u 3.2.2. će još više smanjiti slučajne varijacije temperatura i to bar za faktor 2 zbog osrednjavajućeg uticaja konvolucije. Zbog toga se može zaključiti da je standardna devijacija standardne greške manja od 150 K.

Uobičajeni kriterijum pouzdanosti za podatke je 3σ . To znači da je za korak pri crtanju karata poželjno uzeti broj bliži vrednosti 3σ . Podesan broj celih stotina stepeni koji bi davao dovoljno razudjenu kartu bio je 400 K. Taj korak je kao što je rečeno u 3.2.3.1 i usvojen pri crtanju karata.

Probne karte uradjene su sa korakom od 100 K, 400 K i 800 K i pokazale su da 400 K i 800 K daju realističnu, glatku kartu kontura dok se na karti sa korakom 100 K javlja mnogo nerealnih detalja tipičnih za slučajne fluktuacije tipa šuma. Ovo sve govori u prilog pravilnosti procene greške.

U oblasti visokih temperatura i strmih gradijenata greška je procenjena na 5%.

3.2.4. Jonosferska apsorpcija

3.2.4.1. Prilaz problemu

Kako su uočili Tertl i dr. (Turtle et al. 1962) i Endrju (Andrew 1966), apsorpcija zračenja na 38 MHz od strane Zemljine jonosfere može da oslabi signal naročito u vreme kada je stepen jonizacije veliki.

Apsorpcija kosmičkog zračenja u jonosferi nastaje što se elektroni koji osciluju pod uticajem polja elektromagnetnog talasa sudaraju sa jonizovanim i neutralnim česticama jonosfere. U tim sudarima energija zračenja prelazi u kinetičku temperaturu čestica jonosfere. Apsorpcija dovođi do zagrevanja plazme. Stepem jonizacije veoma zavisi od ultraljubičastog i rendgenskog Sunčevog zračenja. Zbog toga je stepen jonizacije znatno veći danju. Najveći je oko podneva, i to naročito u vreme pojačane Sunčeve aktivnosti.

U vreme posmatranja, Sunčeva aktivnost se nalazila u usponu od minimuma 1964-65. a maksimum se očekivao oko 1970 godine i to srazmerno nizak. Danas znamo da je maksimum bio neuobičajeno dugotrajan i da je nastupio već 1968. Izravno godišnji Volfov broj je bio 110 - 120, i zabeležen je tokom tri godine 1968, 1969, i 1970. Po veličini taj maksimum je bio oko prosečnog. U vreme planiranog posmatranja na 38 MHz

postojale su nade da prva polovina 1967. još uvek nije predaleko od minimuma i da će posmatranja moći da se obave bez velikih teškoća. Te nade su ostvarene u smislu da u vreme posmatranja nije bilo sunčevih erupcija tako da velikih poremećaja u jonosferi nije bilo. Međutim, pokazalo se da je stepen jonizacije jonosfere bio znatan. Posmatrajući unazad vidi se da je Volfov broj bio u januaru 1967. - 111 a u aprilu 1967. - 69, a u maju 1967. - 80, prema Biltenu Međunarodne astronomske unije (I.A.U. Quarterly Bulletin on Solar Activity, 1967).

Prema jonosferskim podacima iz Slau (Ionospheric Data, Slough, January 1967) kritična učestanost jonosferskog sloja F_2 je bila tokom januara 1967. retko veća od 9 MHz, a nikad nije bila preko 11 MHz. Kako je pokazao Ellis (1963), na 18 MHz zimska apsorpcija je manja od 0,1 db ($< 2\%$) za posmatračku učestanost veću bar za četiri puta od kritične. Zbog toga je bilo očekivano da će slična zavisnost važiti i za posmatranja na 38 MHz.

Što se tiče sloja E njegova kritička učestanost, prema podacima iz Slau, u januaru 1967. nije nikad prelazila 3 MHz.

Tokom dana do apsorpcije dolazi najvećim delom u sloju D i E a znatno manje u sloju F. Sloj D u toku noći praktično iščezava te bi stoga on mogao da utiče samo na onaj deo januarskih podataka koji je tokom kratkih obdanicu prikupljan. U aprilu i maju se posmatralo noću kada je apsorpcija zanemarljiva. Uticaj apsorpcije na primljenu snagu kosmičkog zračenja teško da se mogao uočiti tokom samih posmatranja koja su trajala nešto manje od mesec dana u svakom posmatračkom roku.

Posmatranja iz dva roka nisu mogla da pokažu na prvi pogled uticaj apsorpcije jer prolećna posmatranja nisu bila dovoljno precizno kalibrisana. Promena položaja Sunca za svega 2^h duž ekliptike ne daje lako uočljivu razliku u posmatračkim podacima. Apсорpcija se jasno mogla uočiti samo na merenjima istog dela neba pri bitno drukčijim stanjima jonosfere.

3.2.4.2. Izračunavanje apsorpcije na 38 MHz

I pored toga što uticaj apsorpcije nije u prvi mah uočen, preduzeto je od strane autora iscrpnije istraživanje uticaja apsorpcije. Pre svega kod Šventeka i Grušvica (Schwentek and Gruschwitz 1970) su nadjena neposredna merenja na 26,7 MHz ukupne jonosferske apsorpcije (D + E + F) sloja u januaru 1967. Šventek i Grušvic su merili apsorpciju u pravcu severnog nebeskog pola, pomoću riometra, neprekidno svakog dana, iz mesta Lindau (51°6N; 10°1E). Njihovi rezultati su prikazani u obliku krive promene toka apsorpcije za 24 sata, osrednjene za svaki mesec. Oni su pripisali najveći deo apsorpcije sloju D i sloju E i skoro ništa sloju F, tako da su noćna posmatranja praktično slobodna od apsorpcije. Njihovi rezultati su za potrebe ovog rada preračunati na 38 MHz tako što su smanjeni za faktor $(26,7/38)^2$. Takav postupak sledi iz teorije apsorpcije. Posmatrajmo apsorpciju L definisanu kao

$$L = 10 \log \frac{P_0}{P} ,$$

gde su P snaga zračenja koje je ~~pretrpelo~~ apsorpciju a P₀ upadno zračenje. Ta apsorpcija izražena u db je jednaka

$$L = \int K ds = \text{const} \frac{1}{(f \pm f_L)^2} \int \nu n_e ds,$$

gde su: K koeficijent apsorpcije po jedinici debljine apsorbujuće sredine, f učestanost posmatranog radio-talasa, f_L tzv. longitudinalna Larmorova žiro učestanost, n_e gustina elektrona, s pređeni put a ν efektivna učestanost sudara elektrona.

Pošto su i 26,7 MHz i 38 MHz znatno veći nego f_L čija je gornja granica procenjena na srednjim geomagnetskim širinama na 1 MHz,

$$\frac{L(38)}{L(27,6)} = \frac{(26,7)^2}{(38)^2} \quad (3.15)$$

S druge strane pošto apsorpcija zavisi od puta koji talas pređe, ona je posredno funkcija ugla po kojim talas upada u odnosu na normalu. Taj ugao je jednak zenitskoj daljini z tačke na koju je radio-teleskop naperen. S obzirom da su sve visine posmatranih tačaka bile veće od 15° , to se zakrivljenost jonosfere nije morala uzimati u obzir. Zbog toga je

$$L = \int_0^x K \sec z dx$$

gde je x debljina apsorbujućeg sloja. Ako sa L_0 označimo apsorpciju u zenitu biće

$$L = L_0 \sec z \quad (3.16)$$

U Lindau je zenitska daljina pola bila $38^\circ,4$ dok je u Džodrel Benku bila za $1^\circ,6$ manja. Zbog toga je trebalo prvo obračunati efekat te razlike, a zatim apsorpcija za svaku deklinaciju koja je korišćena. Iz serije izračunatih dnevnih krivih apsorpcije data je kao primer ona

za deklinaciju $+15^{\circ}$ ($z = 43^{\circ}, 2$) (slika 25). Ove krive su imale isti oblik jer su izvedene iz srednje krive koju su dali Šventek i Grušvic. Jedino su im se vrednosti na ordinati razlikovale jer su jedino one i preračunavane.

Na ordinatama je sem iznosa apsorpcije u decibelima data i apsorpcija u procentima L' . Pošto je

$$L = 10 \log \frac{P_n}{P_d} , \quad (3.17.)$$

gde je P_n snaga zračenja noću, kada apsorpcije praktično nema, a P_d snaga zračenja danju kada je apsorpcija prisutna, a po definiciji

$$L' = \left(1 - \frac{P_d}{P_n} \right) 100 , \quad (3.18.)$$

to je

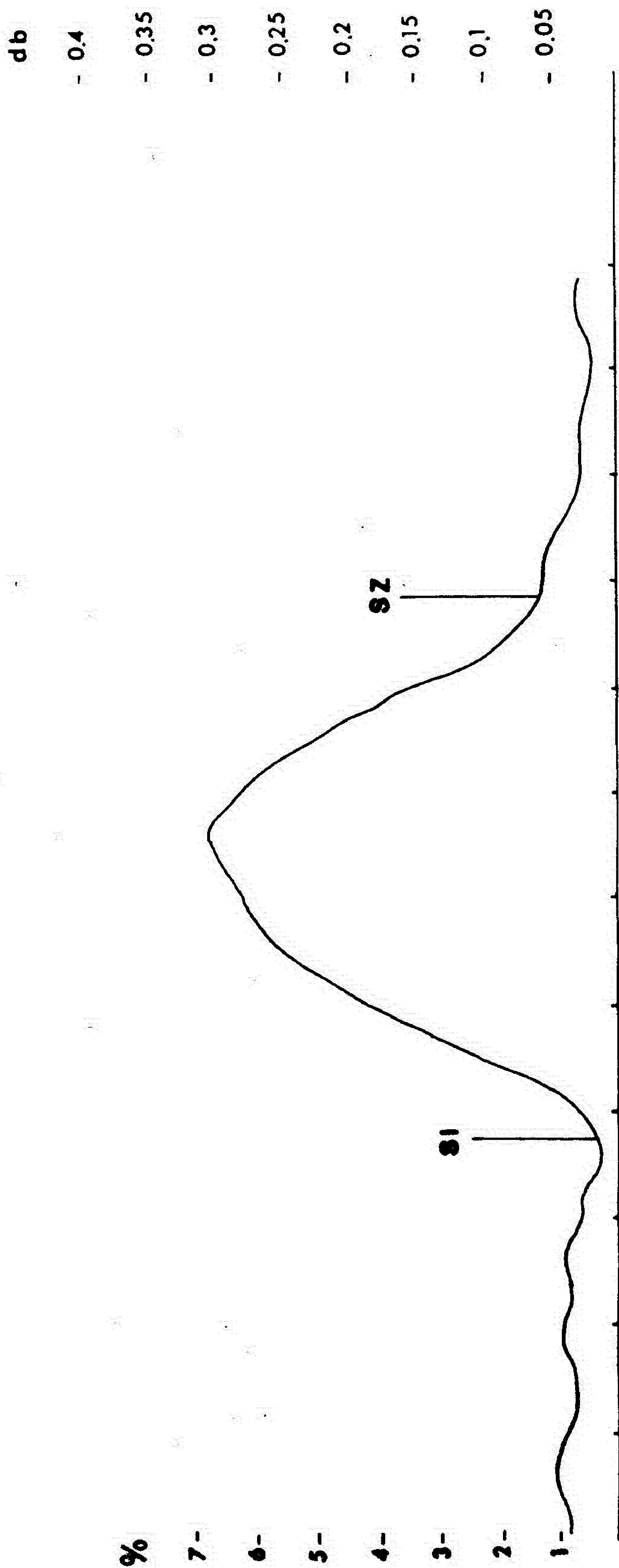
$$L = -10 \log (1 - L'/100) , \quad (3.19.)$$

odnosno

$$L' = \left(1 - 10^{-\frac{L}{10}} \right) 100 . \quad (3.20.)$$

Na apscisi slike 25. dato je vreme u intervalima od jednog časa. SI označava trenutak izlaska Sunca i SZ zalaska Sunca na visini od 100 km. Na geografskoj širini Lindaua odnosno Džodrel Benka izlazak Sunca za nivo mora nastupa $40^m, 4$ kasnije, a zalaska $40^m, 4$ ranije nego za jonosferski sloj na visini od 100 km.

Da bi se iznos apsorpcije izračunao za svaku tačku na karti neba bilo je potrebno znati položaj pravog Sunca u trenutku kada je ta tačka prolazila kroz meridijan Džodrel



Slika 25. Kriva jonosferske apsorpcije na 38 MHz
izračunata za $\delta = +15^\circ$ u Džodrel Benku.

Benka. Stoga je da bi se adaptirane krive koristile učinjele sledeće:

1) za svaki dan posmatranja u januaru trenuci pravog izlaska Sunca su uzeti iz godišnjaka "Astronomical Ephemeris 1967".

2) od tog trenutka koji je izražen u (mesnom) srednjem sunčanom vremenu, iznos od $40^m,4$ je oduzet da bi se dobio trenutak izlaska Sunca za sloj visine 100 km. Time je u suštini utvrđen početak vremenske skale na grafiku. Oznaka SI je time za dotični dan dobila svoje (mesno) srednje sunčano vreme.

3) zvezdano (mesno) vreme izračunato za taj trenutak neposredno daje rektascenziju tačaka koje se u tom trenutku nalaze u gornjoj kulminaciji.

4) Deklinacija izabrane tačke na nebu odredjivala je sa kog grafika će se apsorpcija čitati. Apsorpcija u tom trenutku čitana je sa grafika kao ordinata tačke na krivoj čija je apscisa jednaka tom (mesnom) srednjem sunčanom vremenu.

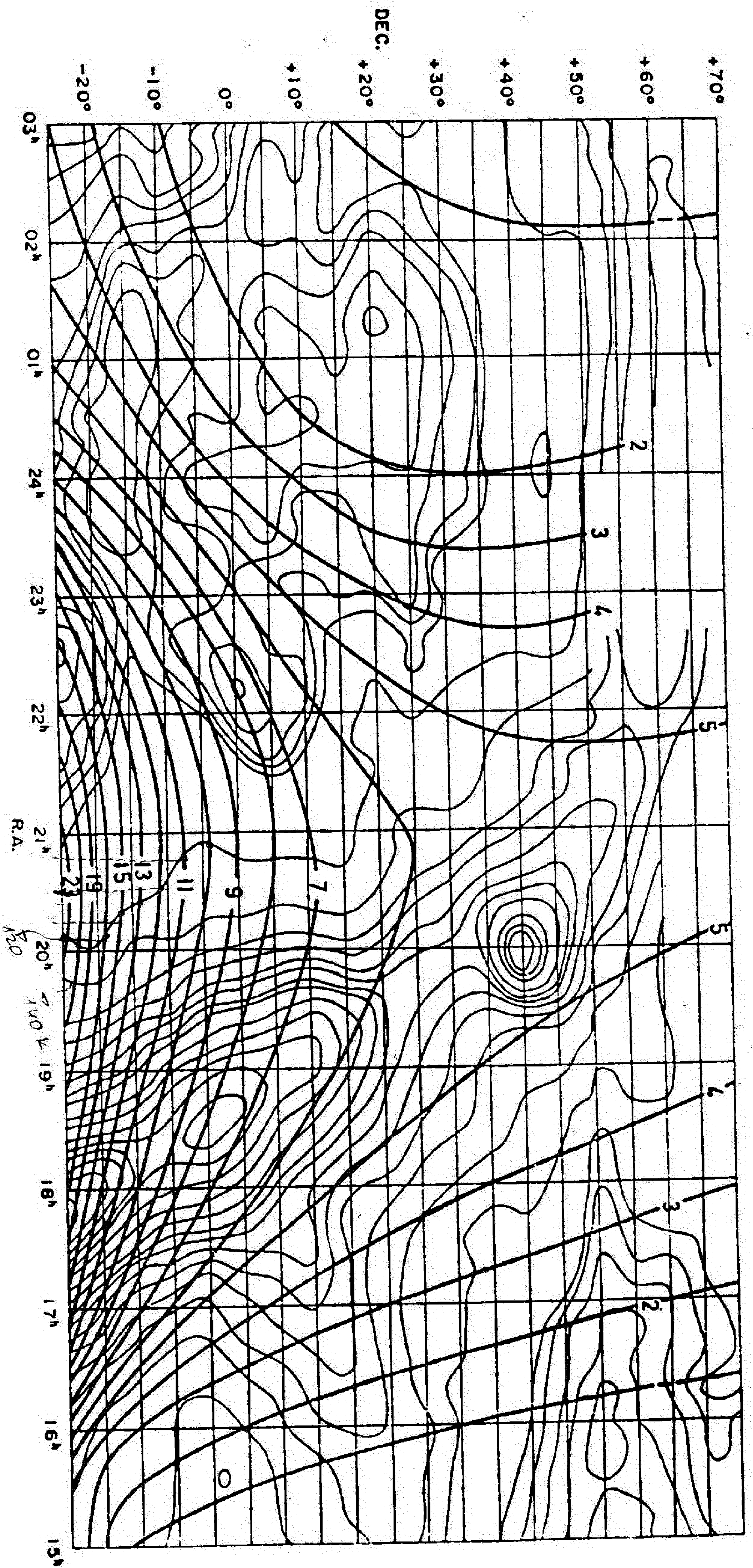
5) Za svaku tačku druge rektascenzije bilo je potrebno još računati (mesno) srednje sunčano vreme njene gornje kulminacije. Razlika rektascenzija te tačke i tačke koja je prolazila kroz meridijan u trenutku izlaska Sunca davala je razliku vremena njihovih kulminacija u jedinicama zvezdanog vremena. Pretvorena u jedinice srednjeg sunčanog vremena ona je bila tačno onaj interval koga je trebalo dodati trenutku SI da bi se dobila apscisa posmatrane tačke.

6) Znajući apscisu, ordinata se lako mogla čitati sa krive čime je apsorpcija za tačku sa datim α i δ određena ovim postupkom.

Opisani metod se odnosi na slučajeve kada je jednog dana posmatran jedan par deklinacija. U slučaju da je neka oblast neba posmatrana više dana i da su svi ti podaci već upotrebljeni za gradju matrice temperatura, moralo se pribeći osrednjavanju. To se vršilo na taj način što je prvo tražena aritmetička sredina trenutaka Sunčevog izlaska za dane u toku kojih je ta oblast posmatrana a zatim je za taj "efektivni dan" postupljeno kao što je opisano za jednostavan slučaj. Najčešće je taj "efektivni dan" padao sredinom januara.

Rezultat izračunavanja uticaja apsorpcije je predstavljen u vidu mreže linija konstantnih procenata apsorpcije. Mreža je superponirana na kartu neba na 38 MHz koja je dobijena bez obračuna uticaja apsorpcije (slika 26). Smatralo se da je tako pravilnije učiniti s obzirom da ovako izračunata apsorpcija nosi u sebi neizbežne neizvesnosti. Mora se, međjutim, naglasiti da je u ovom radu prvi put u radio-astro-
nomiji primenjen ovako iscrpan obračun uticaja apsorpcije u kome su čak i dnevne varijacije apsorpcije uzete u obzir.

Mreža linija konstantne apsorpcije pokazuje sve one osobine koje su sledile iz oblika dnevne krive apsorpcije i postupka. Mreža nije potpuno simetrična jer to nije ni kriva a sem toga "efektivni dan" zavisi od deklinacije na slučajan način. Ukupno uzevši apsorpcija je veća na nižim deklinacijama. Iznad nebeskog ekvatora ona nikada ne prelazi 9%, dok ispod nebeskog ekvatora dostiže u jednoj maloj oblasti na $\delta = -25^{\circ}$ čak i 24%. Zanimljive oblasti koje su optere-



Slika 26. Konture jednakih procenata jonosferske apsorpcije
superponovane preko dela karte antenskih temperatura
na 38 MHz.

ćene znatnom apsorpcijom su deo centralne oblasti Mlečnog Puta i lukovi u sazveždjima Pegasus i Aquarius. Severni Polarni Luk je pretrpeo apsorpciju manju od 5%. Najveći deo pregleda na 38 MHz je opterećen sa manje od 1% apsorpcije.

3.2.4.3. Uticaj dijagrama antene na merenu vrednost apsorpcije

Šventek i Grušvic su merili apsorpciju sa antenom koja se sastojala iz pravougaonog reflektora i horizontalnog savijenog polutalasnog dipola. Takva antena je imala 3-db širinu glavnog lista od 58° i u horizontalnoj i vertikalnoj ravni kako je izmerio Gral (Grah1 1958).

Pošto je glavni list dijagrama radio-teleskopa Mark-I uži oko 8 puta, bilo je potrebno ispitati od kakvog je uticaja velika razlika u širini snopa pri merenju apsorpcije.

Merena vrednost apsorpcije u tački P je ustvari srednja težinska vrednost apsorpcije u tački gde je težinska funkcija ustvari baš dijagram antene. Zato je u opštem slučaju, u horizontskom sistemu

$$L(z_p, A_p) = \frac{\iint (z, A) f(z_p - z, A_p - A) \sin z \, dz dA}{\iint f(z_p - z, A_p - A) \sin z \, dz dA}$$

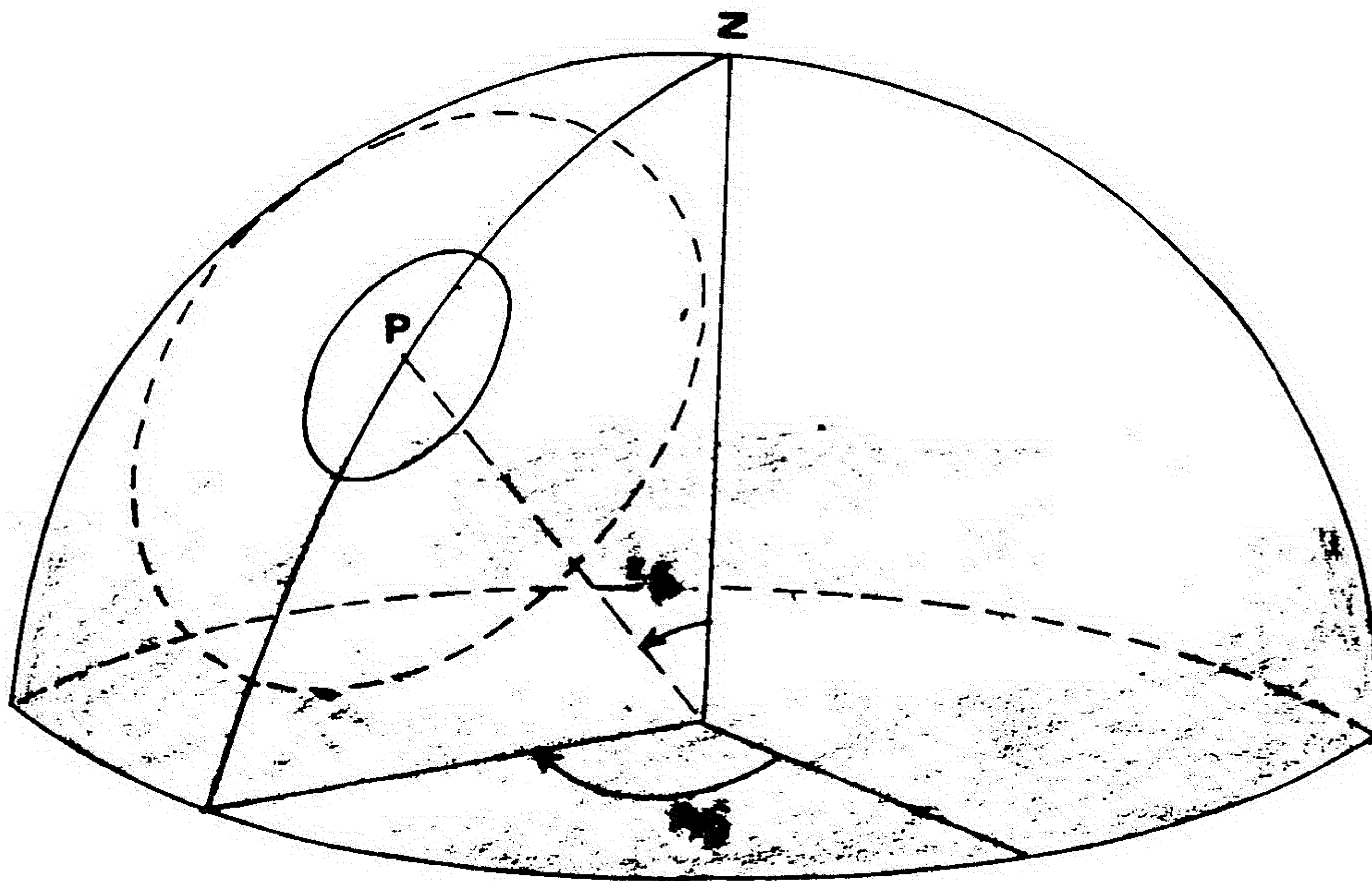
gde je z oznaka za zenitsko odstojanje, A za azimut, dok je $f(z_p - z, A_p - A)$ funkcija dijagrama centriranog na tačku P a $L(z, A)$ raspodela apsorpcije u horizontskom koordinatnom

sistemu. Pošto najveći deo apsorpcije potiče u slojevima nižim od 150 km to znači da deo jonosfere koji je preko glavnog lista posmatran iz Lindaua zahvata svega nekoliko stepeni geografske širine. U toj oblasti jonosferski uslovi nisu jako različiti tako da apsorpcija ne zavisi od azimuta, tj. L je samo funkcija od z , tj.

$$L(z_p) = \frac{\iint L(z) f(z_p - z, A_p - A) \sin z \, dz dA}{\iint f(z_p - z, A_p - A) \sin z \, dz dA} \quad (3.21)$$

Radi jednostavnijeg računa uzeto je da su glavni list Mark-I i glavni list antene iz Lindaua bili u preseku Gausove funkcije za 3-db širinom od $7^{\circ},5$ i 58° respektivno. Uzeto je da su oba teleskopa bili napereni na tačku zenitske daljine $38^{\circ},4$ što je zenitska daljina severnog nebeskog pola u Lindau (sl. 27). Bočni listovi su zamišljeni kao niz prstenova. Visina svakog prstena je bila jednaka srednjoj vrednosti osetljivosti antene u uzetom opsegu uglova. Raspodela bočnih listova Mark-I je bila uzeta sa slike 5. Za antenu u Lindau je uzeto da su bočni listovi takvi kakve ih je opisao Gral (Grah1.1958), jer su Šventek i Grušvic naveli Gralov rad kao merodavan za njihovu antenu.

Za funkciju raspodele apsorpcije je uzeto da je ona data kao $L_0 \sec z$ sve do $z < 78^{\circ}$. Za veće zenitske daljine prihvaćen je drugi prilaz, jer se tu zakrivljenje Zemlje više ne može zanemarivati. Apsorpcija je u tom slučaju računata iz loptastog modela jonosfere gde je usvojeno da D sloj leži između 70 i 90 km visine, E sloj između 100 i 120 km a F sloj između 190 i 270 km. Podela F sloja na



Slika 27. Šema radio-neba opterećenog jonosferskom apsorpcijom posmatranog radio-teleskopom naperenim u tačku P. Prikazani su glavni snop i prvi bočni snop antene.

podslorjeve nije uzeta u obzir jer u zimskom periodu to cepanje nije od velikog značaja za potrebe ovog rada. Pri vertikalnom upadu apsorpcija L_0 može biti predstavljena kao

$$L_0 = K_D h_{OD} + K_E h_{OE} + K_F h_{OF} ,$$

gde su K_D , K_E i K_F efektivni koeficijenti apsorpcije po jedinici dužine D, E i F sloja dok su h_{OD} , h_{OE} i h_{OF} efektivne debljine tih slojeva.

Pri kosom upadu zračenja apsorpcija je

$$L = K_D h_D + K_E h_E + K_F h_F ,$$

gde su h_D , h_E i h_F dužine puta koje radio-zračenje predje kroz slojeve D, E i F.

Kada bi K_D , K_E i K_F bili poznati lako bi se mogla i apsorpcija izračunati. Nažalost to nije slučaj pa je sledeći prilaz problemu usvojen. Prvo se pošlo od procene učešća svakog sloja pri vertikalnom upadu. Prvo je uzeto da 40% doprinosi sloj D, 40% sloj E a 20% sloj F. Tada je

$$K_F h_{OF} = 0,20(K_F h_{OF} + K_E h_{OE} + K_D h_{OD}) ,$$

$$K_D h_{OD} = K_E h_{OE} = 0,40 (K_F h_{OF} + K_E h_{OE} + K_D h_{OD}) .$$

Odatle je

$$K_F = 1/2 K_D \frac{h_{OD}}{h_{OF}} ,$$

i

$$K_E = K_D \frac{h_{OD}}{h_{OF}} .$$

Pa je

$$L = 1/2 K_D h_{OD} \frac{h_F}{h_{OF}} + K_D h_{OD} \frac{h_E}{h_{OE}} + K_D h_{OD} \frac{h_D}{h_{OD}}$$

odnosno

$$L = K_D h_{OD} \left(1/2 \frac{h_F}{h_{OF}} + \frac{h_E}{h_{OE}} + \frac{h_D}{h_{OD}} \right),$$

ili

$$L = 0,4 L_0 \left(1/2 \frac{h_F}{h_{OF}} + \frac{h_E}{h_{OE}} + \frac{h_D}{h_{OD}} \right). \quad (3.22.)$$

Količnici $\frac{h_F}{h_{OF}}$, $\frac{h_E}{h_{OE}}$ i $\frac{h_D}{h_{OD}}$ bili su uzračunati iz modela za zenitska odstojanja $76^{\circ},6$, $81^{\circ},6$, $86^{\circ},6$ i 90° (što odgovara deklinacijama -25° , -30° , -35° i $-38^{\circ},4$).

Sledeće vrednosti apsorpcije su izračunate:

$$\begin{aligned} L(76^{\circ},6) &\approx 4 L_0, \\ L(81^{\circ},6) &\approx 4,5 L_0, \\ L(86^{\circ},6) &\approx 5 L_0, \\ L(90^{\circ}) &\approx 6 L_0. \end{aligned}$$

Za $z = 76^{\circ}$ izračunata apsorpcija je bila svega 2% različita od one koja je sledila iz veze $L = L_0 \sec z$. Stoga je prelaz sa jednog na drugi model funkcije apsorpcije mogao glatko da se izvrši.

Promena polaznih parametara visine slojeva i veličine učešća unutar granica od $\pm 10\%$ je pokazala da apsorpcija izračunata za velika zenitska odstojanja leži oko gore izračunate vrednosti u granicama od oko 15%.

S obzirom da radio-talas pri tako kosom upadu može sa znatnom verovatnoćom da naidje na nehomogenosti, nema velike svrhe tražiti znatno savršeniji model jonosfere za $z > 76^{\circ}$. To je i inače veoma mali deo neba. Jedini put koji bi bio bolji bio bi onaj sa poznatim K_D , K_F , K_E i h_D , h_E i h_F .

Izračunavanje apsorpcije kako bi je zapazili Mark-I i antena u Lindau je obavljeno na računaru IBM 360/40 koris-

teći Fortran IV podprograme za numeričku integraciju pomoću Simpsonovog pravila sa korakom od $1^{\circ},4$. Granična greška bila je manja od 0,005. Izračunavanja su pokazala da je za Mark-I

$$L(z_p) = 1,43 L_0$$

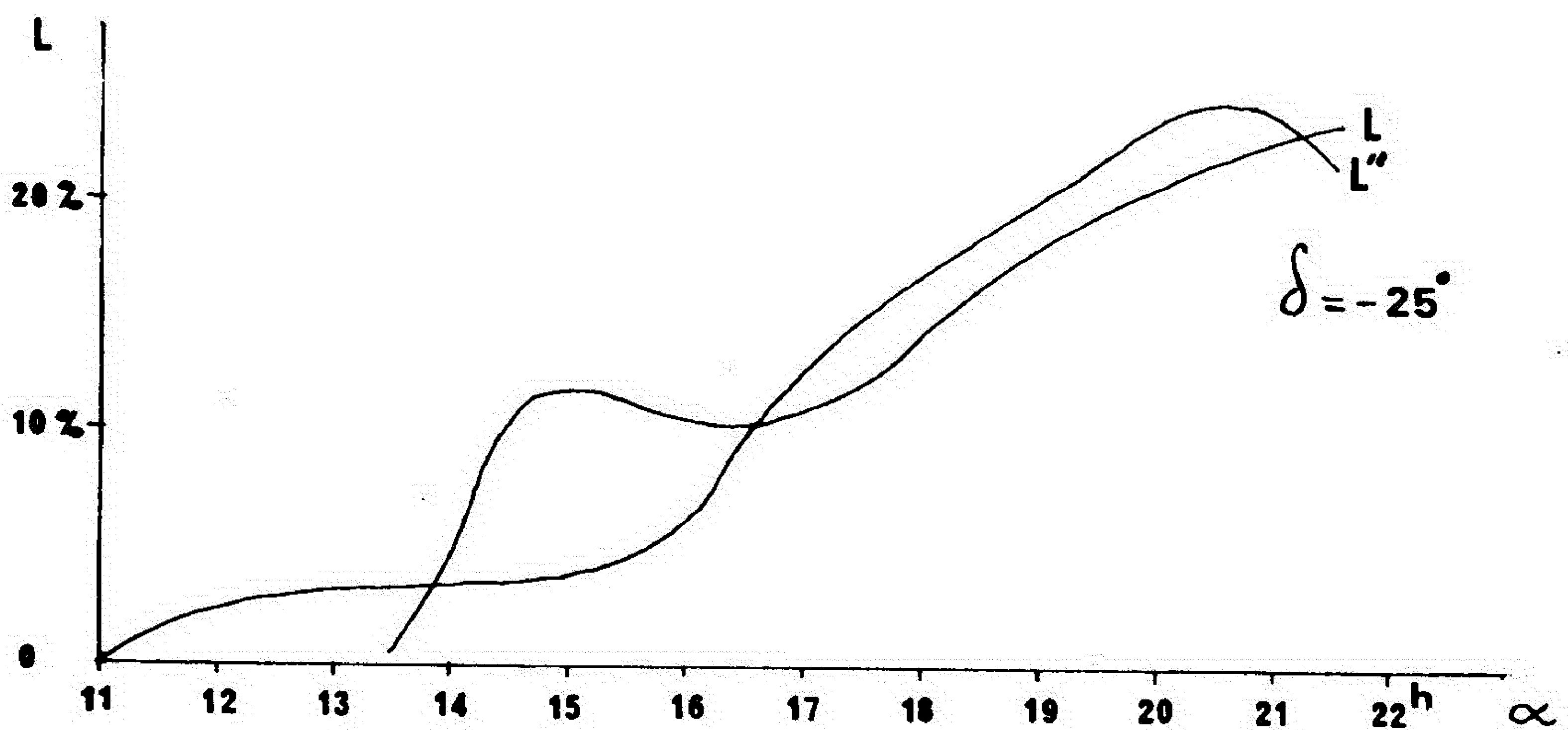
a za antenu u Lindau

$$L(z_p) = 1,82 L_0.$$

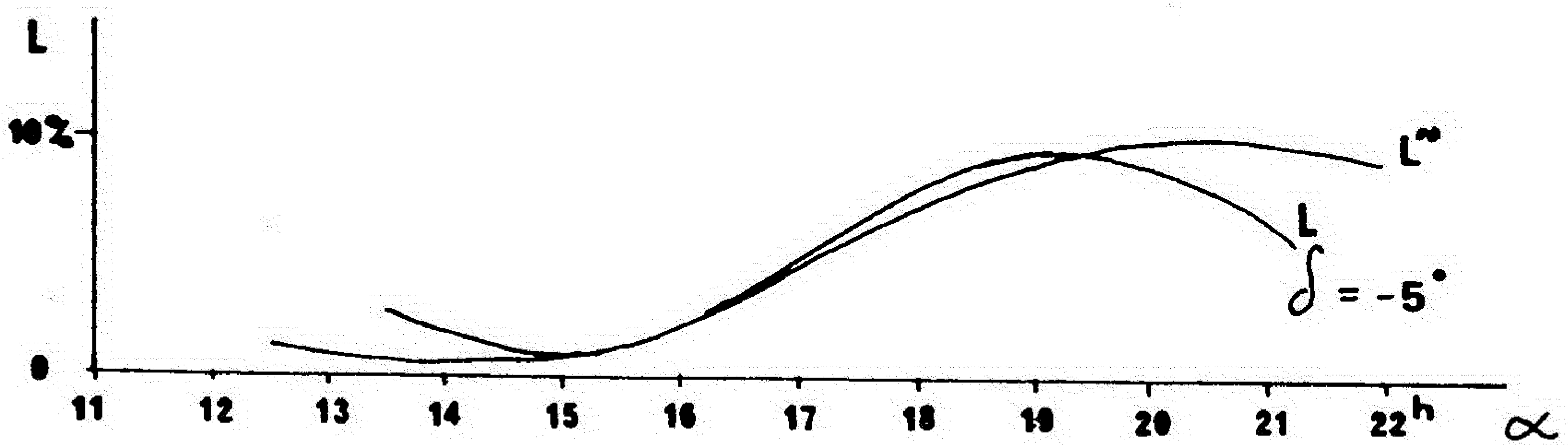
To znači da bi apsorpcija merena sa Mark-I radio-teleskopom bila 0,79 vrednosti izmerene antenom u Lindau. Čak i da usvojeni model jonosferske apsorpcije na zenitskim daljinama većim od $76^{\circ},6$ nije dobar to ~~ne bi~~ znatno izmenilo rezultat, jer taj deo jonosfere vidi samo jedan mali deo bočnog dijagrama.

Uopšte govoreći, razlika u apsorpciji ta dva teleskopa i nije velika, baš zato što se apsorpcija srazmerno sporo menja sa zenitskom daljinom dok ne dodje u oblast velikih zenitskih odstojanja.

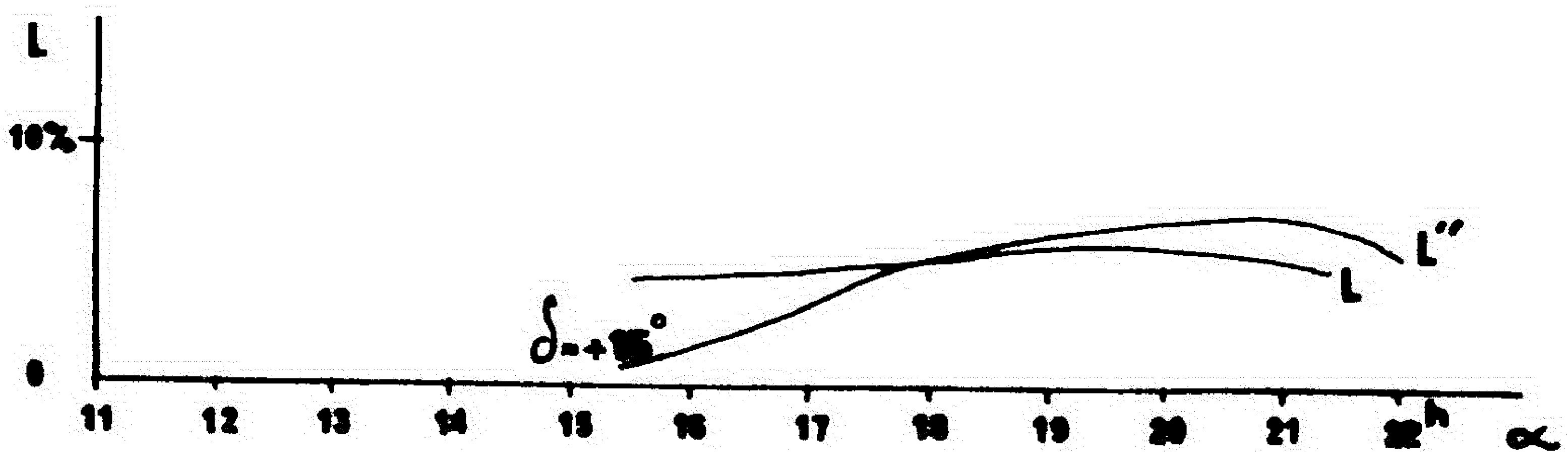
Veliko je pitanje da li treba sve izračunate vrednosti iz 3.4.5.2. smanjiti množenjem faktorom sa 0,8, jer je najveća nesigurnost u ovom izračunavanju apsorpcije potiče od toga što apsorpcija nije merena u samom Džodrel Benku istog dana kada su posmatranja obavljena. Sem toga grafici sa slike 28. ne pokazuju da bi tako smanjenje trebalo izvršiti. Zato se tome nije ni pristupilo.



I.



II.



III.

Slika 28. Teorijske krive apsorpcije za tri deklinacije superponovane preko apsorpcije izračunate iz posmatračkih podataka.

3.2.4.4. Diskusija metode izračunavanja apsorpcije

Izloženi postupak izračunavanja apsorpcije je smišljen zato što se iz merenja Šventeka i Grušvica videlo da ona nije zanemarljiva i da se znatno menjala u toku dana. Naravno da bi bilo bolje da je apsorpcija bila merena u samom Džodrel Benku tokom posmatranja. Međutim, treba imati u vidu da radio-astronomi 1967. nisu znali da zračenje na 38 MHz može biti oslabljeno tolikom apsorpcijom. Primenjeni postupak je najbolje što se post festum moglo uraditi. Ima razloga da se smatra da se Lindau i Džodrel Benk ne razlikuju mnogo po jonosferskim uslovima. Lindau je svega $1^{\circ},6$ južnije a $12^{\circ},4$ istočnije, tako da je osunčanost jonosfere veoma slična. Geomagnetski parametri: ukupan intenzitet, inklinacija i deklinacija magnetnog polja za Lindau su $0,482 \times 10^{-4}$ T, $68^{\circ},3$ i -8° a za Džodrel Benk $0,480 \times 10^{-4}$ T, $67^{\circ},1$, -0° , za godinu 1965. S obzirom da se te veličine u toku dve godine verovatno nisu znatno promenile jedna u odnosu na drugu, ostaje da su im geomagnetski parametri slični. Uvid u karte E i F slojeva za januar, kraj aprila i početak maja 1967. pokazuje da je situacija u ta dva mesta bila slična.

Korišćenje srednje krive čak ima i svojih prednosti. Mnogo je verovatnije da će srednje mesečne vrednosti apsorpcije u Lindau i Džodrel Benku biti slične nego trenutne vrednosti u ta dva mesta udaljena stotinama kilometara.

Polazeći od toga da proletnja posmatranja nisu opterećena apsorpcijom jer su bila načinjena noću, izračunate su vrednosti količnika januarskih i prolećnih antenskih temperatura, u oblasti između 11^h i 22^h rektascenzije. Uzimajući

količnike kao bazu izračunate su vrednosti $L'' = (1 - \frac{U}{I_P})100$ za sve posmatrane deklinacije. Veličina L'' nije identična sa L' zbog neprecizne kalibracije u aprilu i maju. Međutim, tok krive koja pokazuje zavisnost L'' od α i tok krive koja pokazuje zavisnost L' od α mora biti sličan ako je stanje jonosfere u Lindau bilo slično sa stanjem u Džodrel Benku. Parovi takvih krivih predstavljani su na slici 27. L'' su osrednjene vrednosti unutar intervala od 1^h rektascenzije.

Slaganje je lošije za visoke deklinacije gde je uopšte sama pojava apsorpcije slabija. Na niskim deklinacijama tokovi krivih se u priličnoj meri slažu. Veći opseg rektascenzija se nije mogao uzeti jer preko rektascenzije 22^h nije bilo moguće meriti tokom aprilskih i majskih noći.

Pored toga kao svojevrsan argument u prilog opisanom postupku je i merenje opisano u 3.2.4.6.

3.2.4.5. Izračunavanje matrice antenskih temperatura ispravljene za apsorpciju i prateće efekte

U vreme kada je pregled na 38 MHz počeo nije se znalo da apsorpcija na 38 MHz može biti veća od par procenata. Zbog toga je obrada tekla ne uzimajući u obzir njeno prisustvo. Kada se u toku rada javila ~~nista~~ da ona može i ne biti zanemarljivo mala, jedina mogućnost za njeno izračunavanje je bila da se uzmu merenja iz Lindaua i da se prilagode upotrebi za kartu neba na 38 MHz. Baš zbog te pretpostavke da se stanje jonosfere iznad Džodrel Benka i Lindau ne razlikuju sma-

tralo se da je bolje dati posebnu kartu antenskih temperatura neispravljenih za udeo apsorpcije, posebno mrežu linija konstantne apsorpcije a posebno kartu antenskih temperatura ispravljenih za apsorpciju izračunatu u 3.2.4.2. Istorija nauke je mnogo puta pokazala da je korisno da se originalni podaci sačuvaju a da se redukcije kompletno navedu, kako bi se njihov uticaj jasno video i mogao ukloniti ili ponovo analizirati u slučaju potrebe.

Pri izradi karte neba na 38 MHz ispravljene za apsorpciju potrebno je bilo uzeti u obzir i činjenicu da je matrica antenskih temperatura načinjena tako što su originalni podaci iz aprila i maja nadovezani na januarske podatke kako je podrobno opisano u 3.2.2.3. Posmatrački podaci iz aprila i maja se mogu smatrati slobodnim od apsorpcije dok su dnevni januarski podaci opterećeni apsorpcijom. Konačna matrica je načinjena konvolucijom januarskih podataka i podataka iz aprila i maja uskladjenih sa januarskim podacima. U najvećem broju tačaka matrice podaci iz oba posmatračka roka su podjednako zastupljeni ali ima i manjih delova gde je odnos drukčiji. S obzirom na oblik konvolucione funkcije to znači da o zastupljenosti treba voditi računa samo u oblasti koja je zajednička za januarska i aprilsko-majska posmatranja tj. između rektascenzija 11^h i 22^h sa malim uticajem na prvu susednu tačku van tih granica ($\pm 16^m$).

Uskladjivanje podataka je vršeno na osnovu toga što je metodom najmanjih kvadrata nadjen faktor a jednak nagibu prave $T_{\text{april/maj}} = a T_{\text{jan}}$ sa slike 22. Prema tome antenska temperatura u posmatranoj tački matrice je

$$\bar{T} = \frac{N_S}{N} T_S + \frac{N_A}{N} T_A, \quad (3.23.)$$

gde su N_S i N_A broj podataka iz januarskog roka i aprilsko-majskog roka koji su učestvovali u ukupnom broju podataka N koji je ušao u izračunavanje te tačke. T_S i T_A su naravno antenske temperature izmerene u januarskom i aprilsko-majskom roku. Pošto je

$$T_S = T_t \cdot \lambda,$$

gde je T_t tačka temperatura te tačke a λ koeficijent propuštanja upadnog zračenja. S druge strane

$$a' T_t = a T_a,$$

gde je sa a označen prvobitno nadjeni faktor dok je sa a' data tačna vrednost tog faktora.

Otuda je

$$\bar{T} = \left(\frac{N_S}{N} T_t \cdot \lambda + \frac{N_A}{N} T_t \frac{a'}{a} \right),$$

tj.

$$\bar{T} = T_t \left(\frac{N_S}{N} \lambda + \frac{N_A}{N} \frac{a'}{a} \right).$$

Ako označimo sa n

$$n = \frac{N_A}{N},$$

biće

$$\bar{T} = T_t \left((1 - n) \lambda + n \frac{a'}{a} \right),$$

odnosno

$$T_t = \bar{T} / \left((1 - n) \left(1 - \frac{L'}{100} \right) + n \frac{a'}{a} \right). \quad (3.24.)$$

Da bi se našla vrednost a' primenjen je opet metod najmanjih kvadrata na 332 para podataka. Aprilsko-majski podaci su bili izvorni a odgovarajući januarski su bili ispravljani za apsorpciju. Pošto je bilo potrebno da se za tačku čija je rektascenzija α i deklinacija δ i koja je posmatrana u aprilu nadje januarska vrednost zračenja u toj istoj tački moralo se u mnogim slučajevima pribegavati interpolaciji između stvarno merenih januarskih tačaka. Interpolacija je izvršena grafički sa krivih promene merene temperature neba sa rektascenzijom. Vrednost koeficijenta a' se pokazala bliska jedinici.

$$a' = 1,014 \pm 0,005 \quad .$$

Vrednost odsečka prave je bila nula sa srednjom standardnom greškom manjom od standardne greške antenskih temperatura. Otuda je

$$\frac{a'}{a} = 0,8833 \quad .$$

Da bi se dobila veličina n morali su da se pregledaju svi podaci ponovo i da se utvrdi koliko su datoj tabularnoj tački doprineli januarski a koliko aprilsko-majski podaci u oblasti koja je zajednička za ta dva posmatračka roka. Tom prilikom uzimalo se u obzir samo neposredno susedstvo svake čvorne tačke, najčešće do $4^{\circ}(16^m)$ levo i desno od nje duž posmatranog dnevnog paralela. Ovo stoga što je konvoluciona funkcija $\exp(-(47,71 x)^2)$ za $x > 4^{\circ}$ padala ispod 0,000015, pa su tačke van te oblasti imale praktično

neznatan uticaj na posmatranu tabularnu vrednost antenske temperature, ukoliko se nije radilo o procepu širem no dve tačke.

Najveći broj tabularnih vrednosti dobijen je skoro podjednakim učešćem januarskih i aprilsko-majskih podataka. Samo mali broj tabularnih tačaka u zajedničkoj oblasti je poreklom samo iz jednog posmatračkog roka: $n = 0$ iz januarskog a $n = 1$ iz aprilsko-majskog.

Analiza pokazuje da u oblasti gde je apsorpcija veća od 12% ima svega tridesetak tačaka od čega je najveći broj onih koje imaju $0,33 < n < 0,67$. U maloj oblasti gde je apsorpcija 23% ima svega šest tačaka od kojih tri sa $n = 0,33$ i tri sa $n = 1$, što znači da bi u toj oblasti direktna primena popravke za apsorpciju bila precenjena. U oblasti oko 20^h , $\delta = -25^\circ$ i $\delta = -20^\circ$ su samo aprilski podaci. Najveći deo podataka leži u oblasti gde je apsorpcija manja od 5%, tako da tu korekcionni faktor mora biti manji od 1,13, a najčešće je manji od 1,06.

Iako je jednačina 3.24. izvedena za jednostavan slučaj sabiranja januarskih i aprilsko-majskih podataka, tu jednačinu je moguće primeniti i na slučaj matrice dobijene konvolucijom, baš zbog karaktera konvolucione funkcije koja veoma brzo opada. Složenost postupka ulazi kroz matricu veličina n . Metodom probe i greške došlo se do zaključka da je najcelishodnije primeniti popravku prema jednačini (3.24.) a zatim dobijene konture ukoliko je potrebno izgladiti rukom. U galaktičkim koordinatama praćenje podataka je teže pa se došlo do zaključka da je za nju najprikladnije da se cela galaktička matrica obradi kao da je $n = 0,5$ izuzev onih mesta gde je

$n = 1$ ili $n = 0$. Na kraju je izglađivanje kontura izvršeno rukom.

Jedini postupak koji bi bio bolji od opisanog bio bi ponavljanje celog posla od samog početka. Pri tome ipak moramo imati u vidu već nekoliko puta istaknutu činjenicu da apsorpcija 1967. nije merena u Džodrel Benku i da prema tome u suštini pitanje je da li bi imalo smisla zasnivati tako zametan posao.

3.2.4.6. Greške uzrokovane obračunavanjem apsorpcije

Karta linija konstantne apsorpcije data na sl. 26. sadrži u sebi nekoliko izvora grešaka. Prvo, dnevne vrednosti iz kojih je izvedena srednja mesečna kriva su raspodeljene oko nje. Drugo, tačnost samih dnevnih merenja apsorpcije u Lindau je bila oko $\pm 0,56$ db na 27,6 MHz, pri $z = 36^{\circ},8$. To bi odgovaralo vrednosti od 0,03 db ($\sim 1\%$) na 38 MHz pri istoj zenitskoj daljini, a 0,15 db (3%) na deklinaciji $\delta = -25^{\circ}$. Treće, izborom objektivnog posmatračkog dana unosi se greška koja može iznositi par procenata. Četvrto, razlika u merenju apsorpcije sa dva teleskopa morala se izračunati uz pomoć modela koji sadrži određene pretpostavke koje ne moraju biti u potpunosti ispunjene. Medjutim, najveći i najznačajniji izvor moguće greške jeste polazna hipoteza da se apsorpcija u Lindau nije razlikovala od one u Džodrel Benku. Zbog toga nije ni imalo smisla izračunavati pojedinačne greške koje potiču iz svakog izvora ponaosob ako se ne zna veličina greške koja se unosi zbog te presudne pretpostavke.

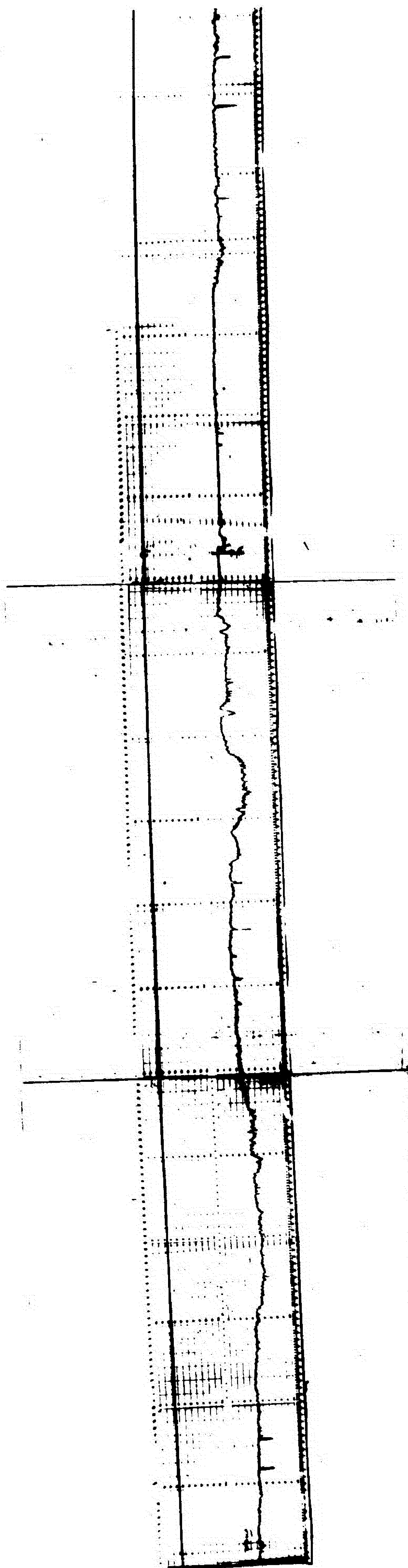
U tom smislu izvesnu pomoć mogu da pruže grafici gde su uporedo prikazani tok zavisnosti izračunate apsorpcije sa rektascenzijom i tok veličine $L = 100 \left(1 - \frac{P_s}{P_a}\right)$ sa rektascenzijom (sl.28.). Ako su aprilski i januarski podaci bili merene vrednosti, aprilski su bili opterećeni neizvesnim faktorom kalibracije. Faktor a (3.2.2.3.) kojim je rešeno da se podele aprilski podaci razlikovao se od faktora a' (3.2.4.5.) za 12%. Sam faktor a' je dobijen posle korekcije januarskih podataka za apsorpciju. Rezultujući faktor a' se za 1% razlikovao od 1, što je ono što bi se teoretski očekivalo od uredjaja koji se nije bitno promenio od januara do aprila. Prema tome, izgleda da se može uzeti da je, u proseku, upotrebljena korekcija januarskih podataka bliska stvarnoj. Ako se tako može smatrati onda krive sa slike^{28.} treba protumačiti kao moguće indikatore grešaka. To bi značilo da je na $\delta = -25^\circ$, $\delta = -20^\circ$, $\delta = -5^\circ$, $\delta = 0^\circ$, $\delta = 10^\circ$, $\delta = +15^\circ$, $\delta = 40^\circ$ i $\delta = 45^\circ$, u oblasti između 16^h i 21^h , gde je apsorpcija i najveća, izračunato L' se razlikovalo od svega par procenata. Jedino je za $14^h < \alpha < 16^h$, za $\delta = -25^\circ$ i $\delta = -20^\circ$ razlika dostizala 8%. Par dnevnih paralela $\delta = -10^\circ$, -15° je pokazivao znatniju razliku u iznosu od oko 8% na $\delta = -10^\circ$, a 12% na $\delta = -15^\circ$. Deklinacije $\delta = 20^\circ$, 25° , 30° i 35° su imale razliku od oko 10% i to za $16^h < \alpha < 19^h$. Karakteristično je da je skoro u svim slučajevima kada je apsorpcija odstupala od L'' , veličina bila veća od izračunate apsorpcije. Pošto je do toga dolazilo samo na nekim deklinacijama i to u parovima koji su odgovarali posmatranjima moguće je da su januarski podaci bivali niži od očekivanog možda baš zbog osetnije apsorpcije.

Uticaoj eventualne greške u apsorpciji, prosečne vrednosti od 5%, pri postojećoj apsorpciji od 5%, u tački sa pojedinačnom zastupljenošću podataka bio bi 6% u antenskoj temperaturi. Najgori od realno postojećih slučajeva ($\delta = -15^\circ$, $18^h < \alpha < 19^h$) dao bi 12% greške u antenskoj temperaturi.

3.2.4.7. Odbijanje od tla i jonosferska apsorpcija

U januaru 1976. da bi utvrdili da li postoji znatno odbijanje od tla i apsorpcija, obavljeno je praćenje dve hladne oblasti neba, jedne na rektascenziji 22^h a druge na 10^h , obe deklinacije 0° . Od izlaska do zalaska, izvor deklinacije 0° promeni u Džodrel Benku visinu od 0° , preko najveće, 37° , natrag do 0° . Oblast $\alpha = 22^h$, $\delta = 0^\circ$ je praćena danju a oblast $\alpha = 10^h$, $\delta = 0^\circ$ noću. Nikakva promena koja bi ukazivala na odbijeno zraćenje nije zapažena u toku desetočasovnog noćnog praćenja oblasti $\alpha = 10^h$, $\delta = 0^\circ$, tokom koga se visina menjala u opsegu između 15° i 37° . (Slika 29). Povremeni porasti signala na slici su tipični za smetnje. Ispod 15° , zapisi obeju oblasti su nosili trag veoma jakih smetnji. To se i moglo očekivati s obzirom da na tako malim visinama smetnje počinju da stižu kroz glavni list dijagrama.

Dnevno praćenje je pokazalo slabljenje signala za 4,5% pri opadanju visine sa 33° na 15° . Izračunata vrednost promene metodom opisanom u 3.2.4.2. je 4,8%. Odlično slaganje ove dve vrednosti ukazuje da su izvedeni računi za apsorpciju u Džodrel Benku blizu realnosti. Sem toga to slaganje pokazuje



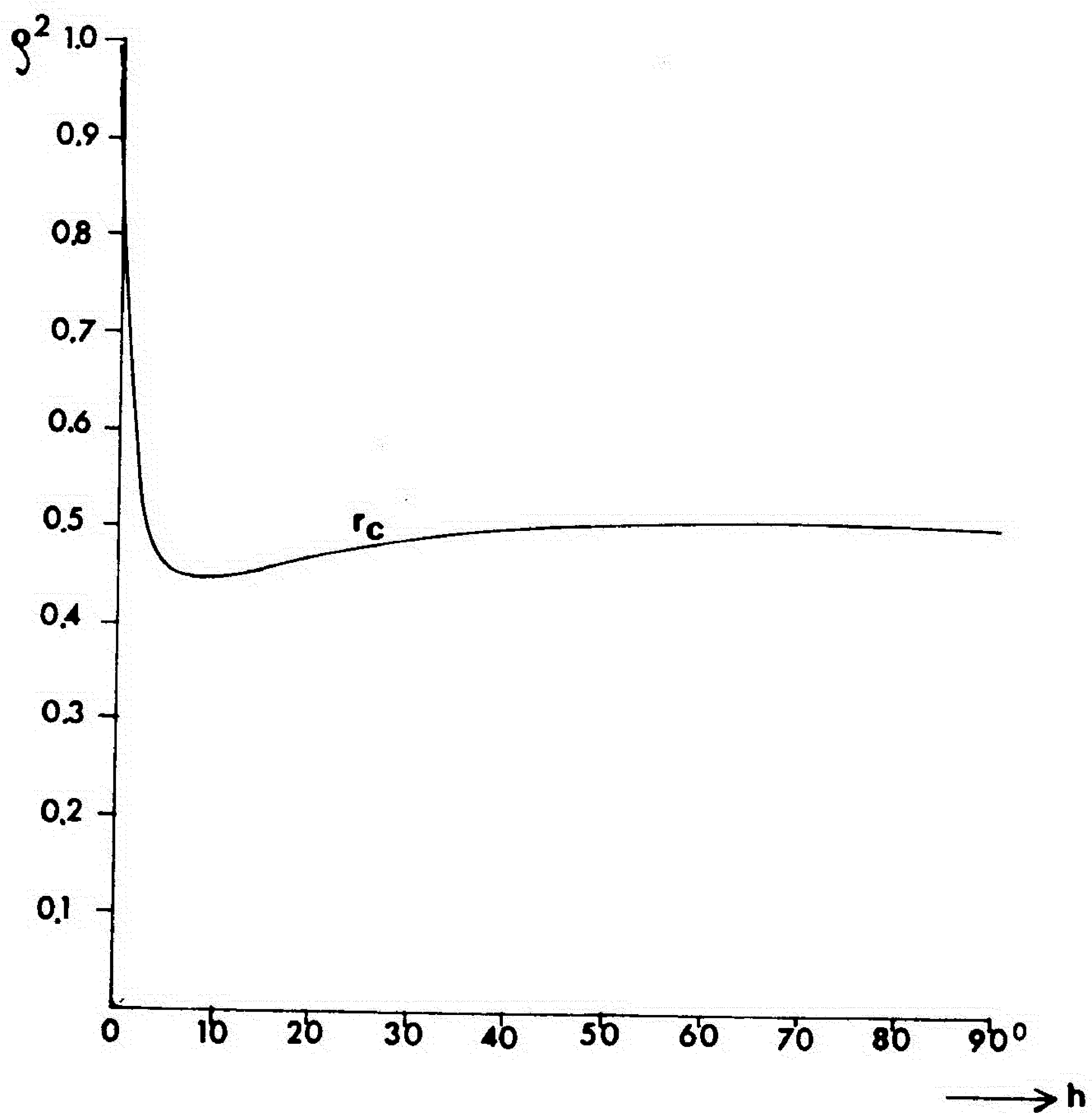
Slika 29. Zapis dugog praćenja hladne oblasti ($\alpha = 10^h$, $\delta = 0^\circ$)

da reflektovano zračenje nije ozbiljnije uticalo na merenja pri visinama većim od 15%.

Teorijsko izračunavanje odbijanja nije jednostavno jer je to veličina koja veoma zavisi od lokalnih uslova i za koje nisu bili poznati potrebni parametri. Pošto u literaturi nije nadjena vrednost koeficijenta odbijanja na 38MHz, morala se upotrebiti vrednost na 20 MHz, za tipičan slučaj nesavršenog tla, koja je navedena u Termanu (Terman 1955). Izračunata vrednost zračenja bi u tom slučaju predstavljala gornju granicu za odbijeno zračenje, jer tlo za učestanost od 38 MHz izgleda hrapavije no za 20 MHz.

Prvi korak u računu bio je da se iz podataka za horizontalno i vertikalno polarizovani talas odredi koeficijent odbijanja za cirkularno polarizovani talas. Drugi korak je bio da se nadjne zavisnost koeficijenta odbijanja polarizovanog zračenja od upadnog ugla. Izračunata funkcija je data na slici 30. Zanimljiv je rezultat da je koeficijent odbijanja skoro konstantan za sve uglove veće od 5° . Strm pad za manje uglove je posledica Brusterovog efekta.

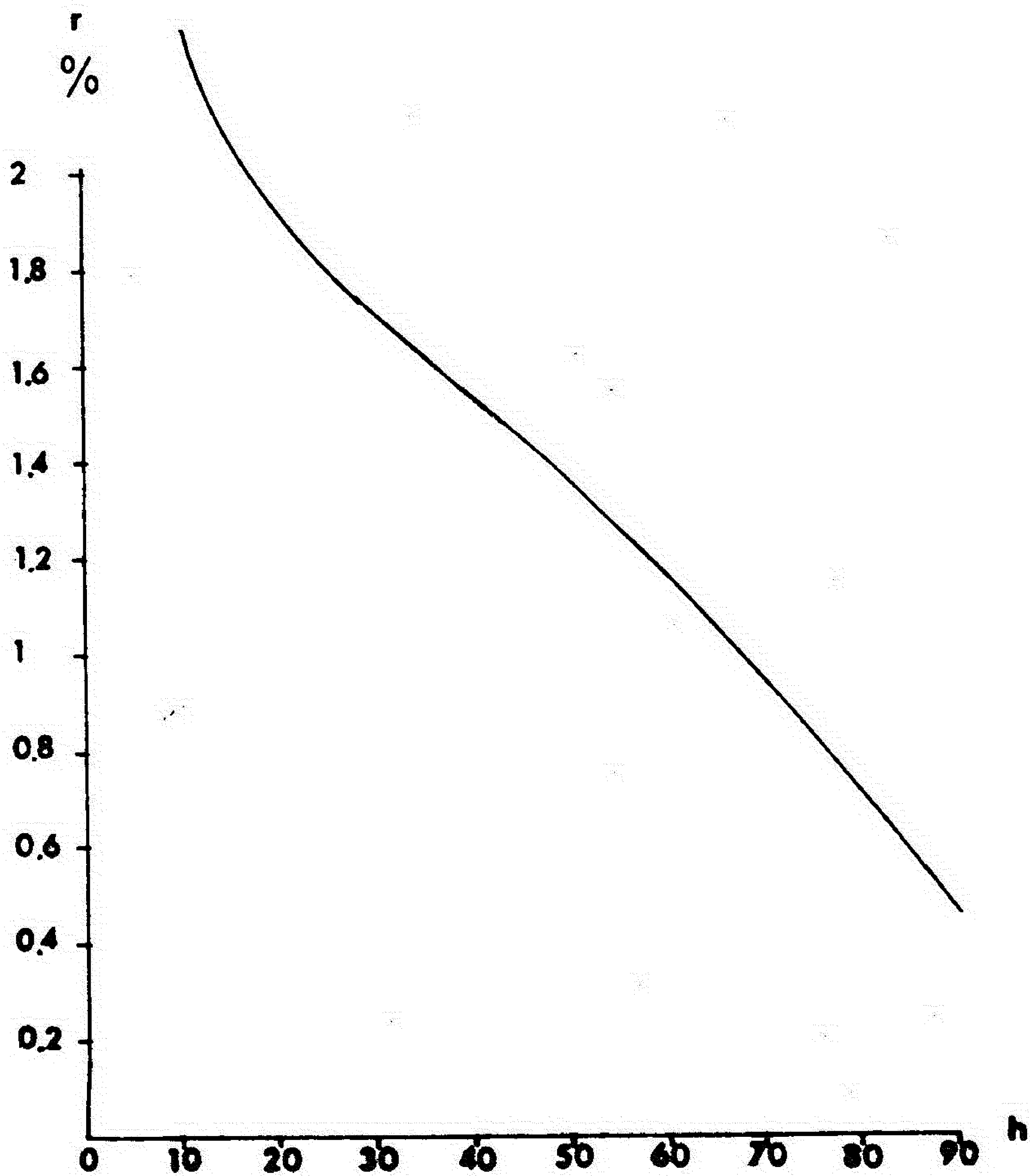
Uzimajući da je koeficijent odbijanja bio 0,5 i da je dijagram usmerenosti simetričan i odgovara slici 5, izračunat je udeo odbijenog zračenja koje stiže kroz bočne listove za ceo raspon visina. Za vrednost upadnog zračenja uzeta je vrednost osrednjena preko cele nebeske polulopte. Rezultat izračunavanja je dat na slici 31. gde je na ordinati udeo odbijenog u ukupnom zračenju izražen u procentima a po apscisi visina tačke na koju je radio-teleskop naperen. Kao što se vidi za visine veće od $12^{\circ},5$ udeo reflektovanog zračenja je manji od 2,2%. Na 38 MHz se može očekivati još manja vrednost.



Slika 30. Zavisnost koficijenta refleksije (ρ^2) od ugla upadnog talasa

Iako približan, ovaj rezultat se dobro slaže sa merenim ponašanjem signala koji je priman od oblasti $\alpha = 22^h$, $\delta = 0^\circ$ i $\alpha = 10^h$, $\delta = 0^\circ$, što se može shvatiti kao argument u korist tvrdjenja da odbijeno zračenje nije bilo značajno.

Zbog svega toga nikakve korekcije za refleksiju nisu vršene.



Sl. 31. Zavisnost procentualnog udela odbijenog zračenja od visine tačke na koju je naperen radio-teleskop.

3.2.4.8. Uticaoj bočnih listova

Doprinos bočnih listova izmerenoj antenskoj temperaturi može biti znatan i menja^{se} od tačke do tačke.

Označimo sa Ω_g tzv. prostorni ugao glavnog lista. Po definiciji to je onaj ugao koji bi odgovarao takvom glavnom listu koji bi unutar tog ugla imao istu (srednju) usmerenost, a primio onoliko zračenja koliko i stvarni list (vidi napr. Krausovu knjigu (Kraus 1966)). U slučaju da je glavni list oblika Gausove funkcije, prostorni ugao glavnog lista se izračunava tako što se izvrši integraljenje prostorne Gausove funkcije odgovarajućih preseka do željenih granica.

Takozvani prostorni ugao bočnih listova, označen sa Ω_b se definiše kao ugao koji bi odgovarao takvom bočnom listu koji bi svuda imao istu usmerenost jednaku po veličini, a primio onoliko zračenja koliko i stvarni list.

U ovom radu Ω_b je izračunat preko modela prstenova čije su visine bile jednake prosečnoj reakciji antene u tom prstenu.

Prostorni ugao dijagrama antene Ω_a definiše se na sličan način i jednak je ustvari zbiru Ω_g i Ω_b , gde su u Ω_b uključeni i zadnji listovi.

Antenska temperatura T_a mora biti

$$T_a = T_g + T_b, \quad (3.25)$$

gde su T_g i T_b doprinosi od strane onih delova neba prema kojima su okrenuti glavni list i bočni listovi. Cilj apsolutnih merenja radio-zračenja neba jeste da se dobije tzv. temperatura glavnog lista T (main beam temperature). Ona je jednaka onoj temperaturi koju bi izmerio idealni radio-

teleskop, primajući svu snagu zračenja preko glavnog lista.

Po definiciji

$$T_g = T / x, \quad (3.26)$$

gde je x udeo glavnog lista u ukupnom primljenom zračenju, a što je jednako Ω_g / Ω_a .

S druge strane mora biti

$$T_a (\Omega_g + \Omega_b) = T \Omega_g + T' \Omega_b, \quad (3.27)$$

gde je T' temperatura koju bi izmerili bočni listovi, kada bi zračenje samo kroz njih dolazilo.

Iz ove jednačine se može izračunati T ako se znaju ostali parametri.

Za tačku gde smatramo da će uticaj bočnih listova biti najveći, sledeći postupak za izračunavanje temperature glavnog lista je usvojen. Ta tačka leži na galaktičkom ekvatoru i ima galaktičku longitudu $l = 40^\circ$. Izmerena temperatura u toj tački je $T_a = 40\,400$ K. Za Ω_g i Ω_a su dobijene za konvoluirani dijagram sledeće vrednosti

$\Omega_g = 2,04 \times 10^{-2}$ sr, dok je $\Omega_a = 2,46 \times 10^{-2}$ sr. Što se tiče člana $T_b \Omega_b$ on je izračunat tako što je nebo izde-

ljeno u prstenove, pa je unutar svakog prstena izračunata prosečna izmerena temperatura. Svaka ta vrednost je pomno-

žena sa prostornim uglom odgovarajućeg prstena. Zbir tih proizvoda predstavlja u prvoj aproksimaciji član $T' \Omega_b$.

Za tačku ($b = 0^\circ$, $l = 40^\circ$) taj zbir je iznosio 8094, pa je otuda

$$40\,400 \times 2,46 \times 10^{-2} = T \times 2,04 \times 10^{-2} + 8094 \times 10^{-2} \quad (3.28)$$

odakle je

$$T = 44\,750 \text{ K.}$$

Razlika između izmerene temperature i temperature

glavnog snopa je 10,5% u odnosu na merenu temperaturu. Za istu tačku u pregledu na 404 MHz (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962) razlika je 12,5%, što se može smatrati odličnim slaganjem.

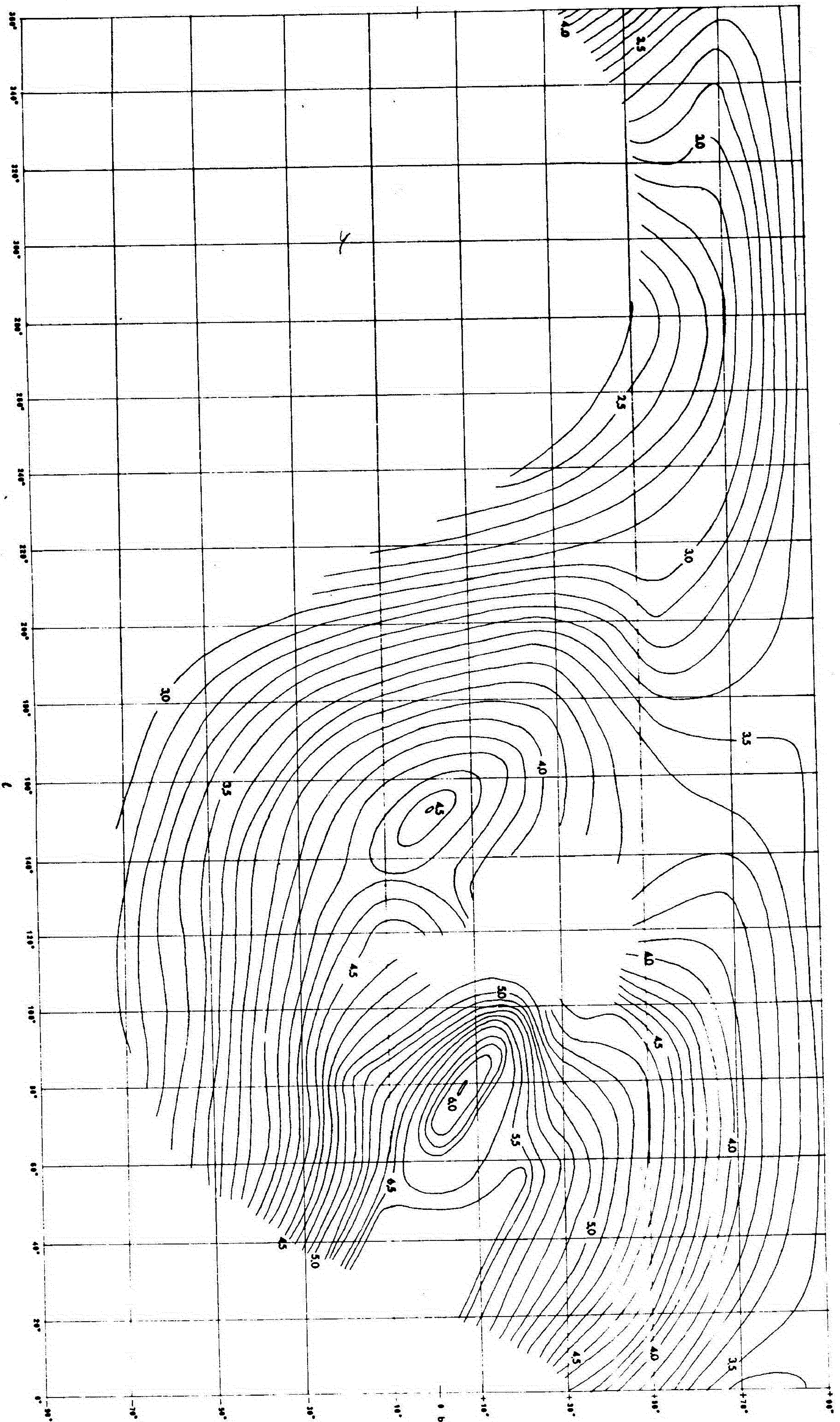
S obzirom da je tačka u kojoj kroz bočne listove stiže zračenje od najsjajnijih oblasti Mlečnog Puta i Severnog Polarnog Luka, dok je glavni list naperen na oblast koja je manje sjajna od centralne, u njoj i njenoj okolini je taj efekat bočnih listova najviše izražen. U drugim delovima neba prirodno je očekivati manji uticaj od izračunatog.

Raspodela doprinosa bočnih listova za kejmbridžski teleskop data je na slici 32. prema radu autora ove teze.

Za Mark-I bi oblik raspona morao biti sličan, s obzirom na veliku sličnost ta dva radio-teleskopa.

Izvršeni račun je obavljen na podacima ne ispravljenim za apsorpciju. Korekcija ne bi donela krupne izmene u vrednosti doprinosa bočnih listova, a svrha računa je bila da se oceni koliki je doprinos bočnih listova. Način na koji su bočni listovi uzeti u obzir pri izračunavanju spektralnih indeksa opisan je u Glavi 5.

Temperatura glavnog lista je najbolje približenje pravoj temperaturi neba koje se može dobiti sa datim teleskopima. Medjutim, kako je iz gornjeg očevidno do njih nije jednostavno doći, pogotovu ako se uzme u obzir svaka tačka na nebu.



Slika 32. Raspodela doprinosa bočnih listova za kejbriđski teleskop.

3.2.4.9. Jonosferska refrakcija

U vreme kada je ovaj pregled bio započet bilo je poznato iz prethodnih posmatranja na 38 MHz da je jonosferska refrakcija u vreme minimuma Sunčeve aktivnosti srazmerno mala. Tako su Viliijams i dr. (Williams et al. 1966) našli da je refrakcija veličine do 10' ponekad bila posmatrana, mada je prosečna srednja vrednost bila svega 2', na deklinacijama većim od 15° za koje su oni raspolagali merenjima.

Medjutim, kada je postalo jasno da je maksimum Sunčeve aktivnosti nastupio ranije no što se očekivalo, tako da su posmatranja u toku 1967. godine mogla biti već opterećena većom refrakcijom, moralo se pristupiti ispitivanju refrakcije.

Teorija posmatranja radio-talasa kroz jonizovanu sredinu predvidja za indeks refrakcije n vrednost

$$n^2 = 1 - \frac{n_e}{1,24 \times 10^{-8} f^2}$$

gde je n_e broj elektrona po jedinici zapremine, a f učestanost radio-talasa, kao što je to napr. izložio Ratklif (Ratcliffe, 1960).

Maksimalna vrednost n_{em} veličine n_e može se dobiti iz merenja kritične učestanosti jonosfere f_m , jer je

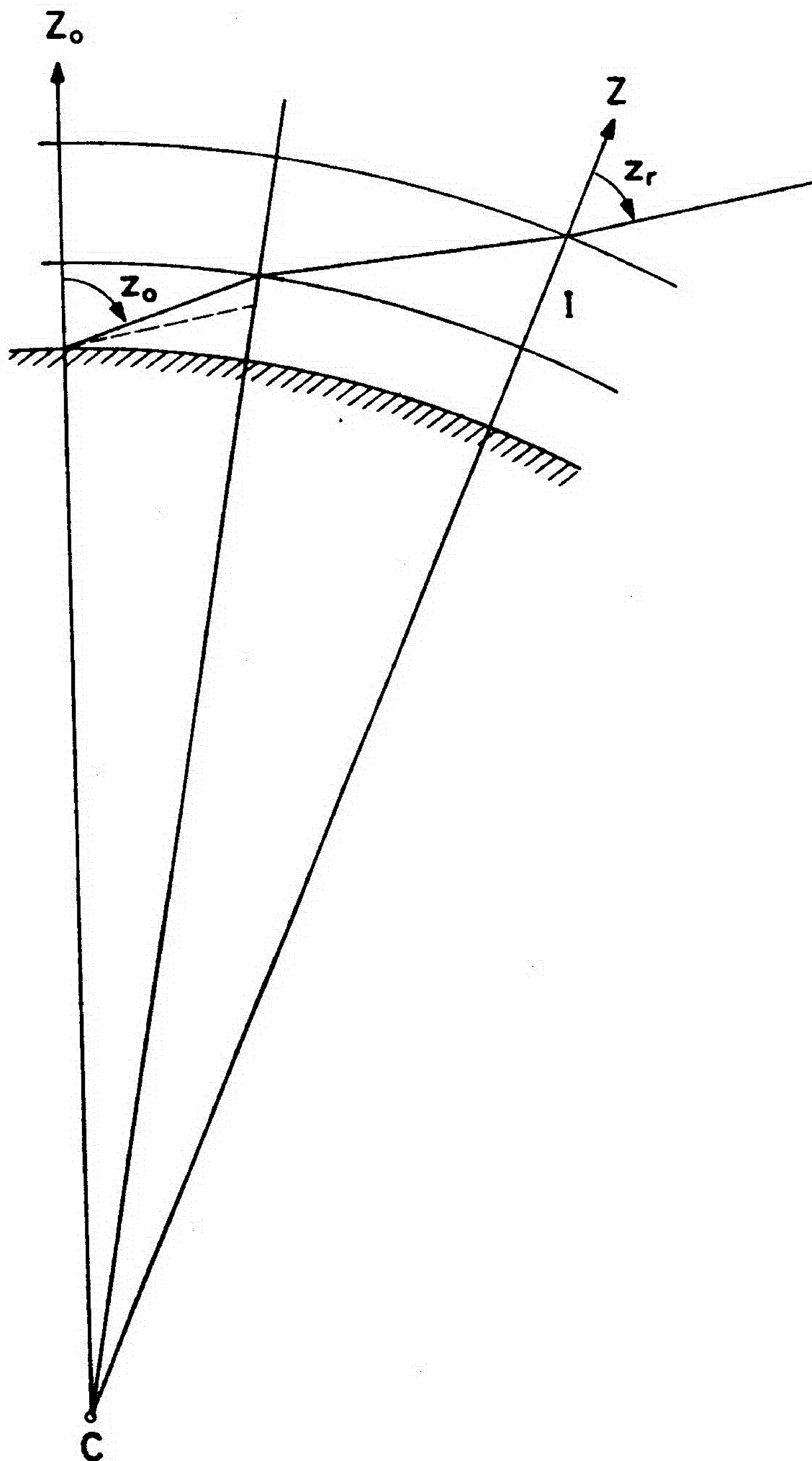
$$f_m = 9 \times 10^3 \sqrt{n_{em}^2} \text{ [MHz]}$$

Potom, januara 1967. kritična učestanost sloja I_2 je ponekad dostizala i 11 MHz, dok je u proseku bila oko 8 MHz, prema podacima iz Slau (Ionosperic data, Slough, January, 1967). Za $f_m = 11$ MHz, $n_{em} = 1,49 \times 10^6, \text{ cm}^{-3}$, a indeks

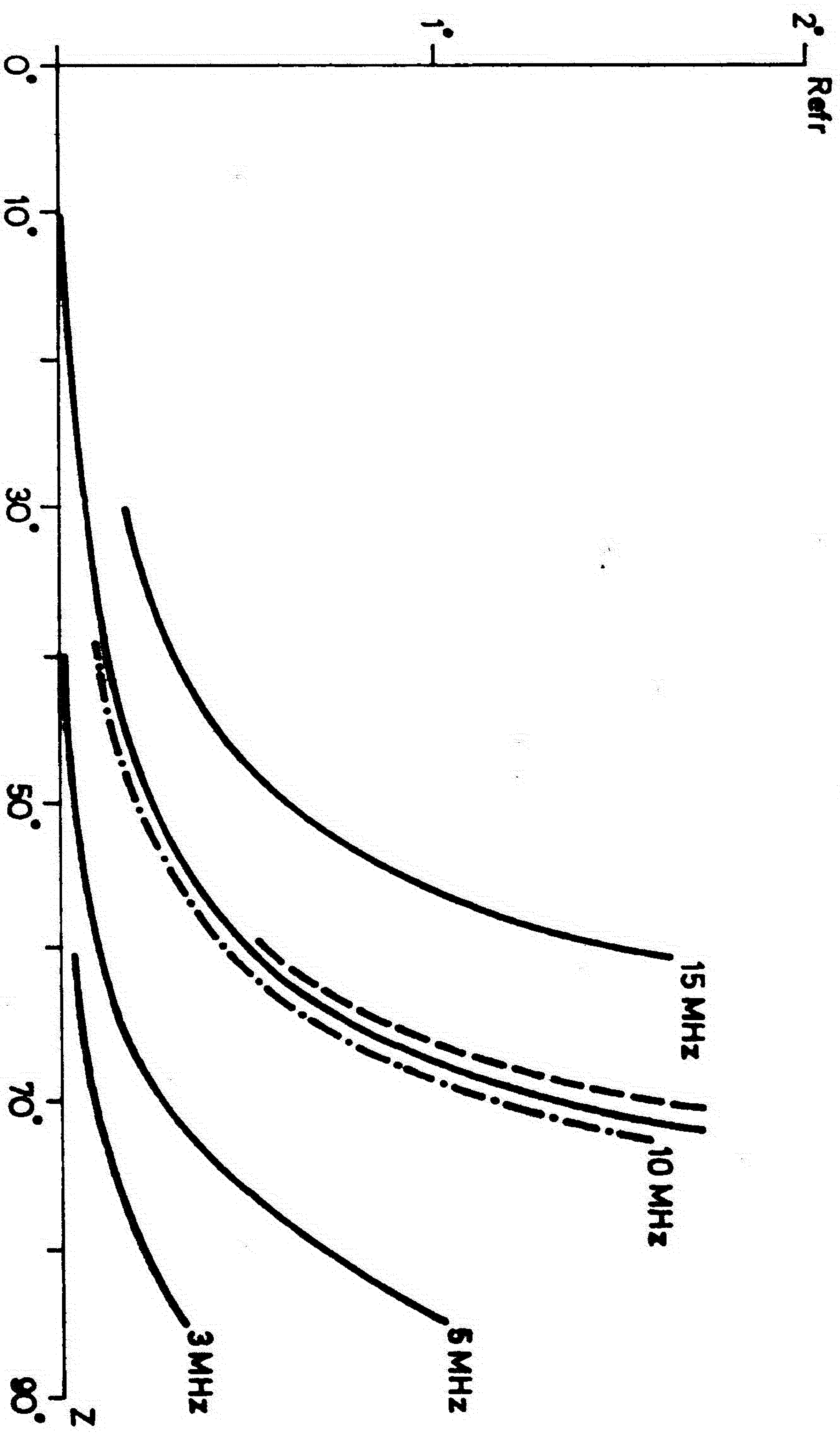
prelamanja $n = 0,9575$.

Da bi se ocenio uticaj refrakcije usvojen je jednostavan model u prvoj aproksimaciji. Jonosfera je predstavljena u vidu jednog sloja čija je ekvivalentna debljina prvobitno uzeta da iznosi 300 km, s tim što počinje na 150 km. Za poluprečnik Zemlje je uzeta vrednost 6370 km. Zbog prelamanja radio-talasa zenitsko odstojanje će se promeniti, i to kako račun izveden iz ovog modela pokazuje, u istom smeru kao i u optičkom području. Sam model je šematski dat na slici 33, dok su na slici 34. dati rezultati izračunavanja refrakcije. Punim linijama su na slici 34. predstavljene krive koje odgovaraju kritičnim učestanostima ispisanim pored njih. Isprekidanom linijom je dat rezultat izračunavanja za slučaj da je ekvivalentna debljina 300 km, a visina 100 km. Isprekidano - tačkasta linija predstavlja rezultat za slučaj kada je ekvivalentna debljina 250 km, a visina 150 km. Kao što se lako može uočiti ekvivalentna debljina i visina nisu od velikog uticaja za zenitska odstojanja manja od 70° . Najuticajniji parametar je kritična učestanost. Prema ovom računu refrakcija može poći Severni Polarni Luk ($\delta = 20^\circ$ za oko $0^\circ,2$, oblasti oko nebeskog ekvatora za $0^\circ,3$, a najniže posmatrane objekte u ovom pregledu ($\delta = -25^\circ$) za oko 4° .

Nehomogenost i latitudni gradijenti u jonosferi mogu sa svoje strane još doprineti refrakciji radio-talasa. Longitudni gradijenti takođe postoje, ali je ocenjeno, polazeći od podataka koje je objavio Smit (Smith 1952) za 81,5 MHz, da oni ne mogu biti od velikog značaja.



Slika 33. Model jonoferske refrakcije



Slika 34. Izračunate krive jonosferske refrakcije.

Smit (Smith 1952) je za maksimum Sunčeve aktivnosti dobio iznose od najviše 0,5, što bi na 38 MHz iznosilo oko 5'. Takva refrakcija uslovljena nejednakom jonizacijom u pravcu E-W ne bi mogla biti uočena sa teleskopom razvojne moći oko 7°,5.

Pošto stvarna refrakcija u vreme posmatranja nije merena, a izračunate vrednosti su procenjene kao srazmerno male a nedovoljno sigurne, nije izvršena popravka podataka preko celog neba za iznos ovde izračunat.

Analiza T-T grafika izneta u odeljku 6.3.5. i s njom povezana istraživanja (4.4.2.1.1.1.) pokazuju da je pomeranje grebena na pregledu na 38 MHz ovde izneto znatno veće od ovde izračunate vrednosti. U prilog tome, da je možda uzrok pomeranja ipak bila refrakcija, govori privatno saopštenje Soltera (Salter 1981) o merenjima na 34,5 MHz na indijskoj opservatoriji Bangalor. Ono sadrži podatke o vrednosti jonosferske refrakcije od oko jednog stepena.

Više se u ovom trenutku ne može reći o uticaju refrakcije na pregled neba u ovoj tezi.

Valjalo bi da radio-astronomi, radeći na niskim učestanostima, povedu više računa o merenju refrakcije u jonosferi tokom svojih posmatranja, a pogotovu oko maksimuma Sunčeve aktivnosti.

3.2.5. Izrada karte antenskih temperatura
ispravljenih za apsorpciju

Karta prikazana na slici 35. daje raspodelu antenskih temperatura u galaktičkim koordinatama.

Dobijena je na računaru Mančesterskog univerziteta pomoću istog programa kao i karta na slici 24. Matrica podataka koja je za crtanje karte korišćena bila je korigovana, koristeći jednačinu 3.24.

$$T_t = T / \left((1-n) \left(1 - \frac{L'}{100} \right) + 0,8833 n \right),$$

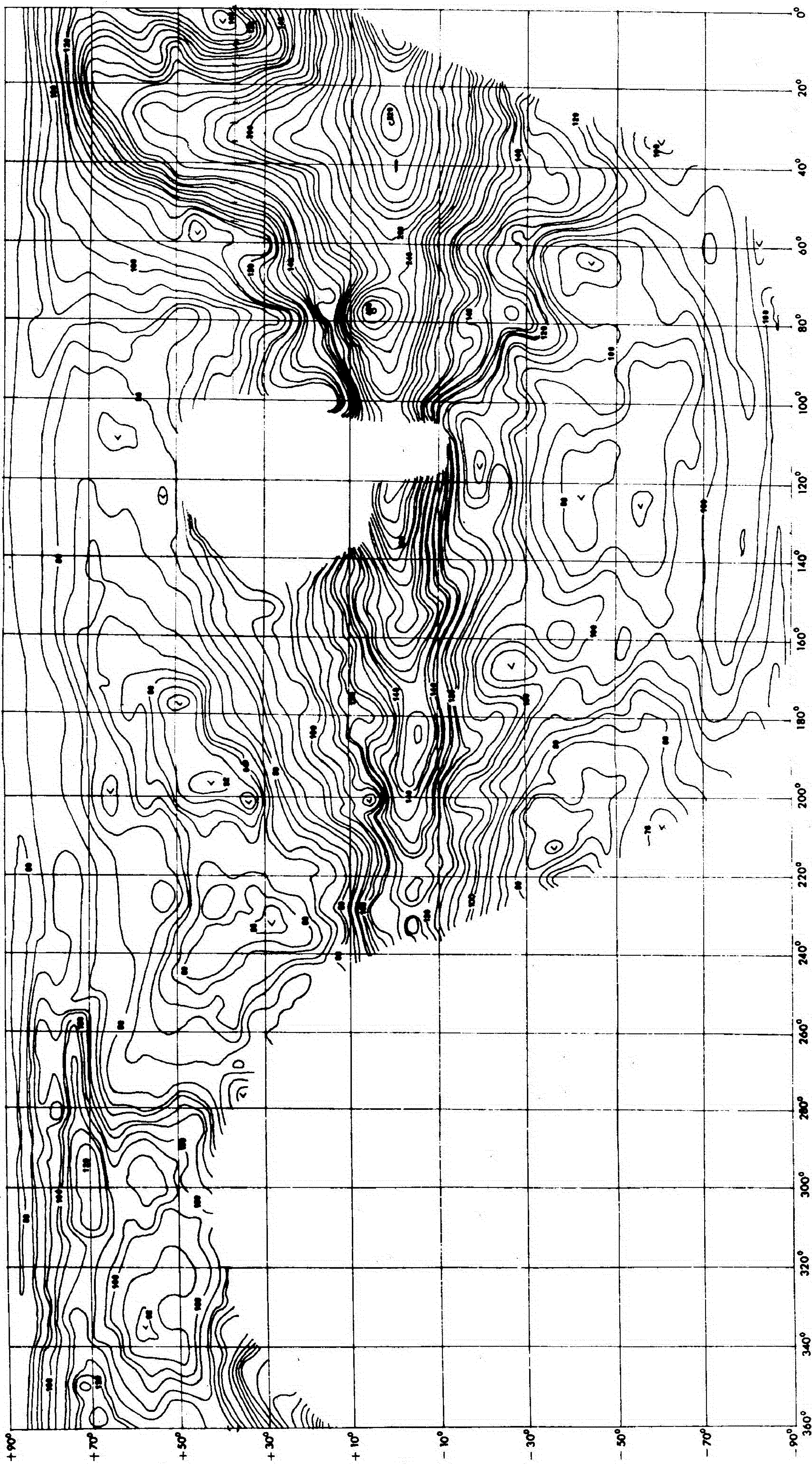
gde je za n uzeta vrednost 0,5, izuzev u tačkama gde je $n = 0$ ili $n = 1$.

Vrednosti L' su bile one sa slike 26. samo preračunate u galaktičke koordinate. Krajnje izgledjivanje je izvršeno ručno.

Pada u oči da je karta antenskih temperatura ispravljenih za apsorpciju data na slici 35. veoma slična onoj na slici 24.

Nijedan krupniji objekat nije iščezao niti se neki novi pojavio.

Kao što se i moglo očekivati na slici se više zapažaju efekti statističkih fluktuacija. Tipični znak njihovog prisustva su usamljeni vrhovi - zaokružene konture, čiji je prečnik $< 8^\circ$. Takvi vrhovi ili kako se nazivaju i ostrva, nastaju oko tačke koja odudara po veličini antenske temperature od okoline. Neposredan proračun i iskustvo stečeno na probnim kartama raznih koraka (3.2.3.2) pokazuju da sada standardna devijacija standardne greške mora biti oko 180 K. Korak i jedinice na karti 35. su iste kao i na karti sa sl. 24.



Slika 35. Karta antenskih temperatura na 38 MHz ispravljenih za jonosfersku apsorpciju i prateće efekte, u galaktičkim koordinatama.

GLAVA 4.

NEBO NA 38 MHz

4.1. Uvod

U ovoj glavi su izneti rezultati izučavanja karte antenskih temperatura čija je izrada opisana u predhodnim glavama. Obradeni su najvažniji objekti i analizirane osobenosti karte na 38 MHz. Poseban naglasak je dat lukovima

4.1.1. Nebo na metarskim talasima

Prema današnjem shvatanju, najveći deo zračenja na metarskim talasima, pa i na 38 MHz, jeste netoplotno zračenje nastalo unutar naše Galaksije. Zaključak o mestu nastanka sledi iz zavisnosti intenziteta zračenja od galaktičkih koordinata i povezanosti sa nebeskim telima za koje je posebnim ispitivanjima utvrđeno da pripadaju Galaksiji. Zaključak o netoplotnoj prirodi zračenja sledi iz spektra, odnosno jednostavno rečeno, iz činjenice da je nebo na niskim učestanostima mnogo sjajnije no što bi to sledilo iz zakona zračenja crnog tela.

Temperatura sjaja, koja se definiše kao temperatura koju bi imalo crno telo istog intenziteta zračenja kao i posmatrano telo, na metarskim talasima prelazi stotine stepeni Kelvina i može dostići stotine hiljada stepeni.

Na učestanostima ispod 50 MHz temperatura sjaja zračenja je skoro svuda viša od elektronske temperature jonizovanog vodonika u Galaksiji. To dovodi do pojave apsorpcije radio-zračenja dalekih izvora od strane bliskih

oblasti jonizovanog vodonika. Unutar radio-područja koje se sa Zemlje može posmatrati, apsorpcija je utoliko veća ukoliko je učestanost niža.

Učestanost od 38 MHz se nalazi u opsegu gde je uticaj apsorpcije značajan ali ipak ne tako velik da radio-zračenje iz udaljenih oblasti Galaksije spreči da dobrim delom ipak stigne do nas. Apsorpcija zračenja u galaktičkoj ravni postaje skoro potpuna tek ispod 15 MHz.

Za očekivanje je da na 38 MHz ukupno primljenom zračenju doprinose galaktička komponenta sa sve tri svoje podkomponente: zračenjem diska, haloa i lukova i vangalaktička komponenta sa svoje dve podkomponente: reliktnim zračenjem i integrisanim zračenjem drugih galaksija.

Na niskim galaktičkim latitudama ubedljivo preovladava zračenje galaktičkog diska, odnosno objekti koji leže oko galaktičke ravni dok su na visokim galaktičkim latitudama uočljive i sve druge podkomponente, sem haloa koji je sporan.

4.1.2. Osnovne osobine karte neba razdvojne moći

7,7 na 38 MHz

S obzirom na srazmerno malu razdvojnu moć pregleda neba datog u ovoj tezi, veliki broj izvora koje su na 38 MHz zabeležili Vilijams sa saradnicima (Williams et al. 1966) stopljen je u opšte zračenje. Medjutim, upotrebljena tehnika je omogućila da se bolje i pouzdanije premere objekti većih ugaonih dimenzija.

Najupadljiviji objekti na kartama neba datim na slikama 23a, b, i 35. su:

1. Mlečni Put, shvaćen u širem smislu a ne kao optički objekat. To zračenje potiče od raznih objekata skoncentrisanih oko galaktičke ravni.

2. Radio-lukovi i radio-petlje i to na:

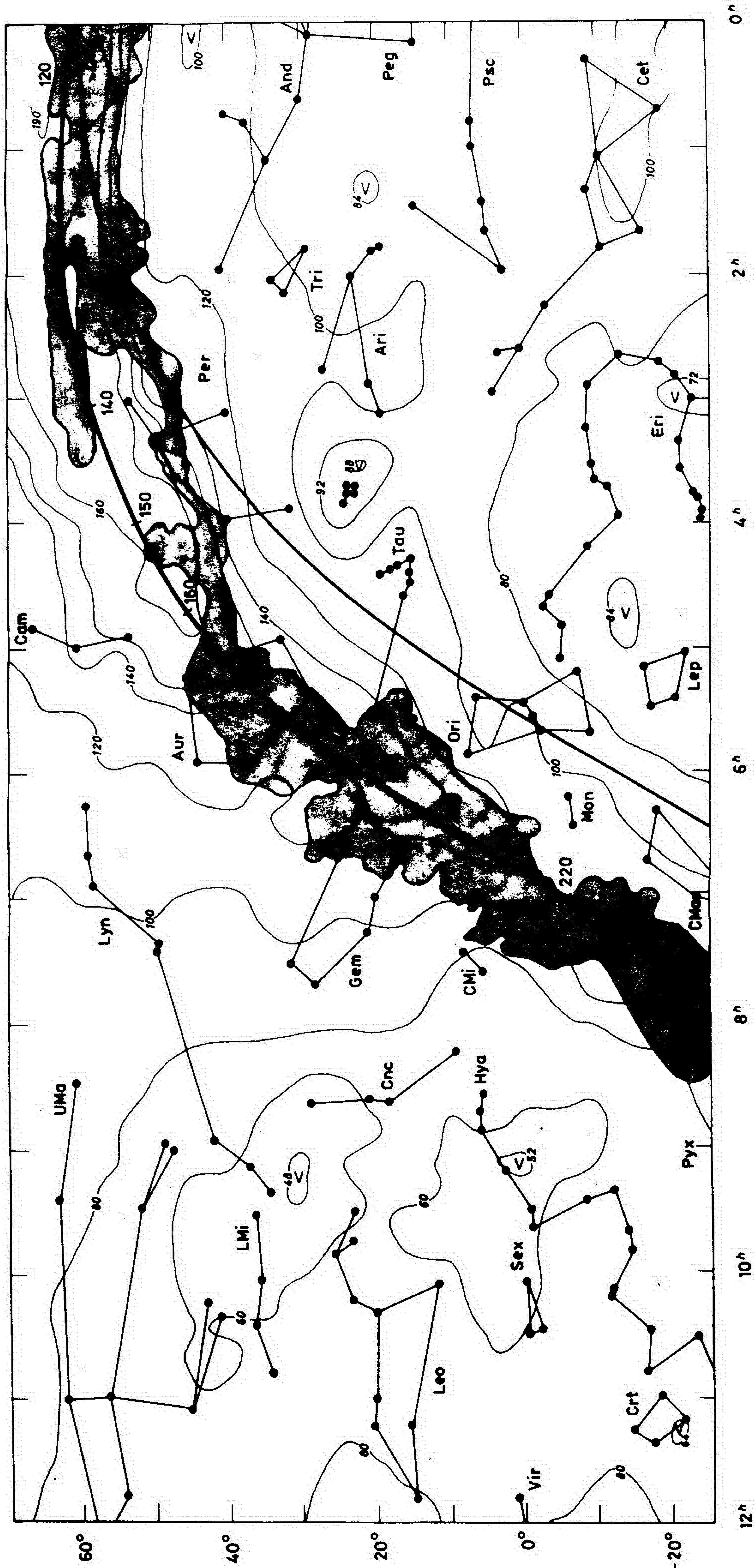
| | | |
|----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| $\alpha = 2^{\text{h}},5$ | $\delta = 30^{\circ}$ | (Luk Kita); |
| $\alpha = 3^{\text{h}}$ | $\delta = 45^{\circ}$ | (Mogući nastavak Petlje III); |
| $\alpha = 5^{\text{h}}$ | $\delta = 15^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 5^{\text{h}}$ | $\delta = 60^{\circ}$ | (Petlja III); |
| $\alpha = 5^{\text{h}},5$ | $\delta = 0^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 6^{\text{h}}$ | $\delta = -10^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 8^{\text{h}}$ | $\delta = -5^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 8^{\text{h}}$ | $\delta = 15^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 17^{\text{h}}$ | $\delta = 10^{\circ}$ | (Severna Polarna Petlja); |
| $\alpha = 18^{\text{h}}$ | $\delta = 40^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 19^{\text{h}}$ | $\delta = 55^{\circ}$ | (Petlja III); |
| $\alpha = 21^{\text{h}}$ | $\delta = -5^{\circ}$ | (Luk Kita); |
| $\alpha = 22^{\text{h}}$ | $\delta = 20^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 22^{\text{h}},5$ | $\delta = 40^{\circ}$ | . |

Sve su one sjajnije u svojoj osnovici, blizu galaktičke ravni, a sjaj im opada sa rastućom galaktičkom latitudom.

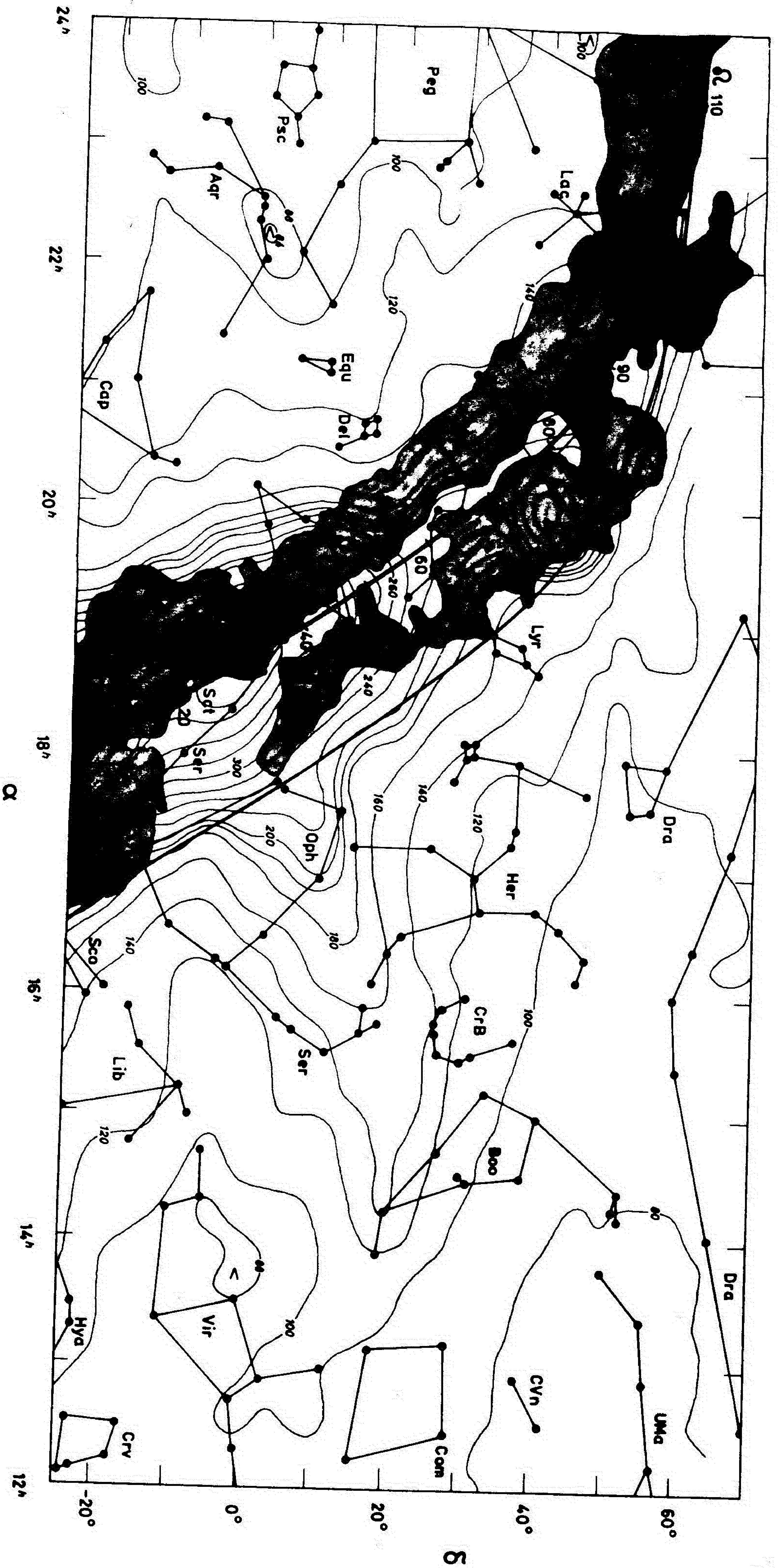
3. Sjajni radio-izvori: Cas A, Cyg A, Tau A, Vir A, i Hya A.

4. Oblasti slabog intenziteta zračenja date prema rastućoj rektascenziji i deklinaciji

| | | |
|----------------------------|------------------------|---|
| $\alpha = 01^{\text{h}},5$ | $\delta = 20^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 3^{\text{h}},5$ | $\delta = 23^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 4^{\text{h}}$ | $\delta = -25^{\circ}$ | ; |
| $\alpha = 9^{\text{h}}$ | $\delta = 0^{\circ}$ | ; |



α
Slika 36a. Konture radio-neba na 38 MHz superponovane
preko optičkog neba.



Слика 36b. Контуре радио-неба на 38 MHz суперпоноване преко оптичког неба.

$$\alpha = 9^{\text{h}},5 \quad , \quad \delta = 30^{\circ};$$

$$\alpha = 11^{\text{h}} \quad , \quad \delta = -20^{\circ};$$

$$\alpha = 13^{\text{h}},5 \quad , \quad \delta = -10^{\circ};$$

$$\alpha = 15^{\text{h}},5 \quad , \quad \delta = -5^{\circ};$$

$$\alpha = 22^{\text{h}},5 \quad , \quad \delta = -25^{\circ};$$

$$\alpha = 22^{\text{h}},5 \quad , \quad \delta = 0^{\circ}.$$

Medju njih bi se mogla uvrstiti i velika oblast oblika zaliva koja se prostire od oko $\alpha \approx 9^{\text{h}}$, $\delta \approx 35^{\circ}$ pa skoro do $\alpha \approx 19^{\text{h}}$, $\delta \approx 50^{\circ}$.

U ovoj listi su pobrojane samo najznačajnije oblasti.

Većina njih se nalaze izmedju petlji odnosno lukova.

Većina pobrojanih objekata će biti posebno razmotrena u odgovarajućim odeljcima.

Radi lakšeg smalaženja na slici 36 a i b date su konture osnovnih sazveždja ucrtane preko karte neba na 38 MHz. Položaji zvezda su ucrtani sa tačnošću od $1/2^{\circ}$. Zvezde su povezane u sazveždja prema uobičajenom dogovoru. U nekim slučajevima uobičajeni oblik sazveždja je malo izmenjen da bi se jasnije videla veličina sazveždja. Konture optičkim sredstvima vidljivog Mlečnog Puta nacrtane su prema „Atlas Coeli“ A. Bečvara-a (1956). Položaj galaktičkog ekvatora je izvučen punom linijom sa oznakama galaktičkih ~~longituda~~ svaki 10° . Središna linija Guldovog pojasa je povučena prema podacima datim za Guldov pojas u „Astrophysical Quantities“ (Allen, 1964) i to tankom linijom. Tačnost sa kojom je linija ucrtana je 1° .

Stara istina da se mnogi optički objekti ne poklapaju sa radio-objektima potvrđuje se i na ovoj slici. Poklapanje postoji samo u slučaju Mlečnog Puta i pojedinih radio-izvora.

Ovaj pregled neba na 38 MHz je iskoristila Kejn (Cane, 1978) da posle podešavanja po frekvenci načini kartu celog neba na 30 MHz.

4.2. Radio-izvori

4.2.1. Pojedinačni radio-izvori

Ovaj pregled neba s obzirom na širok dijagram usmerenosti teleskopa nije imao niti je mogao imati za zadatak ispitivanje pojedinačnih radio-izvora. Od svih radio-izvora iz kataloga koji su Vilijems i dr. (Williams et al. 1966) na 38 MHz sastavili, u ovom pregledu neba su zapaženi samo oni koji su imali gustinu fluksa zračenja veću od 1500 Jy. To se i moglo očekivati od upotrebljenih uređaja. Posmatrani izvori su bili galaktičkog ili vangalatičkog porekla. Sunce i Jupiter u vreme posmatranja nisu predstavljali jake izvore.

Cassiopeia A je bila najintenzivniji od svih posmatranih radio-izvora. Ona je ostatak eksplozije supernove tipa II. Scintilacije od Cas A su omele posmatranja samo u oblasti 15° oko tog izvora. Za daljine veće od 15° udeo koji je Cas A davala kroz bočne listove bio je manji od 100 K.

Cygnus A je bio drugi po sjaju izvor na 38 MHz. To je poznati vangalatički izvor. Položaj mu je bio 1967. $\alpha = 19^{\text{h}}58^{\text{m}}$, $\delta = 40^\circ,5$. Na zapisu u okolini Cyg A videle su se intenzivne scintilacije, ali ipak slabije no kod Cas A.

Taurus A je bio treći sjajni radio-izvor. On je ostatak eksplozije supernove tipa I. Pošto se projektuje na deo Mlečnog Puta čije je radio-zračenje skoro isto toliko intenzivno kao i njegovo, Tau A se ne vidi kao poseban izvor na karti. Međutim, njegovo prisustvo se zapaža preko scintilacija u oblasti $\alpha = 5^{\text{h}}33^{\text{m}}$ i $\delta = 22^\circ$.

Virgo A je na sličan način bila uočena na zapisima. To je dobro poznati vangalatički izvor radio-zračenja. Kao

poseban izvor se na karti ne vidi jer se sliva sa pozadinom pri usvojenoj vrednosti razmaka kontura. Međutim, na zapisima oko $\alpha = 12^h 29^m$, $\delta = 12^\circ,5$ njeno prisustvo se jasno zapaža.

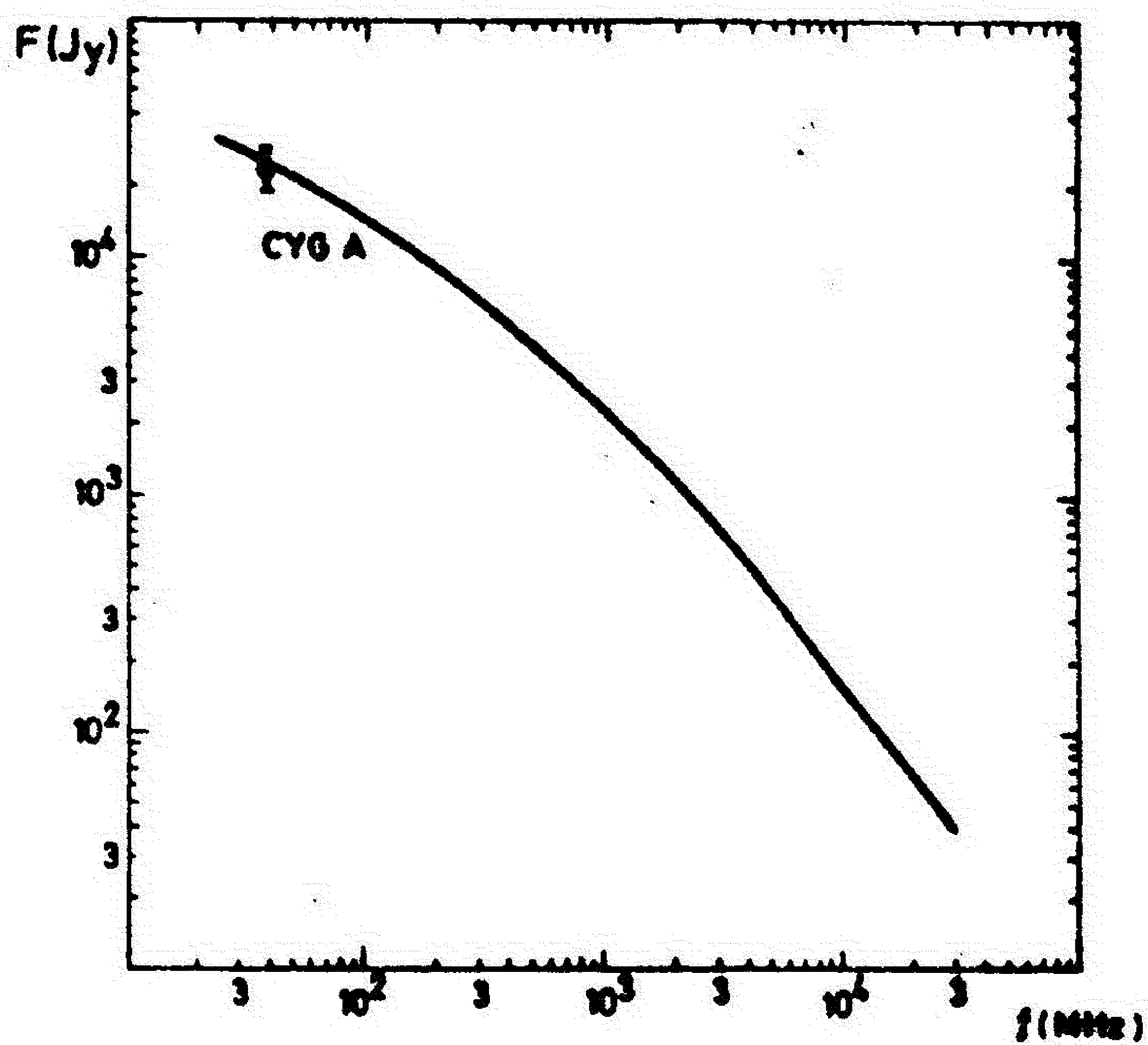
Hydra A je takođe pokazala svoje prisustvo na zapisima u oblasti oko $9^h 16^m,5$ rektascenzije i -12° deklinacije. Hya A je dvojna galaksija.

4.2.2. Određivanje gustine fluksa radio-izvora Cyg A

Pošto je ovaj pregled neba kalibrisan u odnosu na laboratorijske standarde i ispravljen za sve uticaje koji su očekivani ili nađeni, u principu on se može iskoristiti i za određivanje apsolutne gustine fluksa radio-izvora Cyg A.

Postupak je bio sledeći: pre svega nacrtana su dva preseka konstantnih latituda $b = 6^\circ$ i $b = 10^\circ$ u oblasti Cyg A. To je učinjeno stoga da se smanji uticaj emisije Mlečnog Puta na oblik profila. Presek na $b = 6^\circ$ prolazi skoro preko samog izvora Cyg A. Profil na $b = 10^\circ$ je tako daleko od galaktičke ravni i Cyg X da se moglo očekivati da će se na njemu najlakše odrediti nivo zračenja okoline. Korišćeni podaci su ispravljeni za jonosfersku apsorpciju.

Pošto je svakom profilu ocenjena vrednost osnovnog nivoa zračenja, njenim oduzimanjem su dobijene temperature koje odgovaraju samom radio-izvoru Cyg A. Znajući položaj izvora i vrednosti u tabularnim tačkama, izračunata je vrednost antenske temperature na mestu izvora. Uzimajući tu vrednost kao maksimalnu, izračunata je Gausova funkcija poluširine iste kao i glavni list antene. Tako izračunata Gausova funkcija je odlično odgovarala posmatranom profilu Cyg A što ukazuje da je nivo



Sl. 37. Merenje gustine fluksa zračenja Cyg A superpeno-
vano preko spektra Cyg A uzetog iz rada Baars i dr. (Baars
et al. 1977).

pozadine pravilno ocenjen. Maksimalna vrednost izračunata za Cyg A sa grafika za $b = 6^\circ$ bila je 21 384 K dok je sa $b = 10^\circ$ dobijeno 20 820 K.

Presek konstantne longitude $l = 76^\circ$ bio je u skladu sa očekivanim, s tim što je sa njega bilo mnogo teže odrediti vrednost osnovnog nivoa zbog snažno izraženog zračenja Mlečnog Puta.

Koristeći se osnovnom formulom

$$S = \frac{2 kT}{\lambda^2} \Omega$$

gustina fluksa S je bila izračunata uzimajući za vrednost prostornog ugla konvoluiranog dijagrama $\Omega = 2,46 \times 10^{-2}$ steradiana. Odatle je, za srednju vrednost navedenih temperatura dobijena gustina fluksa

$$S = 23\ 030 \text{ Jy.}$$

Srednja kvadratna greška σ je ocenjena na oko 7%.

Najnovija i najtačnija merenja gustine fluksa koja su objavili Bars i dr. (Baars et al. 1977) daju vrednost od $24\ 226 \text{ Jy} \pm 5\%$.

Odatle sledi da se vrednost dobijena u ovom radu slaže unutar greške sa danas prihvaćenom vrednošću.

Na slici 37. dat je spektar Cyg A prema Barsu i saradnicima (Baars et al. 1977) sa ucrtanom vrednošću dobijenom u ovom radu.

4.3. Osobine i struktura radio-zračenja na niskim latitudama

4.3.1. Opšte osobine radio-zračenja oko galaktičke ravni

Radio-zračenje na niskim latitudama, izuzev nekoliko pojedinačnih već pomenutih izvora, potiče od Mlečnog Puta, shvaćenog u širem smislu.

Zračenje Mlečnog Puta na 38 MHz ima uglavnom one iste osnovne osobine koje su prisutne i na višim učestanostima a to su:

1. Radio-zračenje iz centralnih oblasti Galaksije je mnogo jače no zračenje iz oblasti anticentra.

2. Radio-zračenje u centralnoj oblasti je uglavnom simetrično u odnosu na galaktički ekvator, dok je u oblasti anticentra radio-zračenje simetrično u odnosu na liniju $b \approx -2^{\circ},5$.

3. Radio-zračenje Mlečnog Puta slabi sa udaljavanjem od galaktičke ravni.

4. Linije konstantnih temperatura teku uglavnom paralelno galaktičkom ekvatoru.

5. Oblast za $l < 50^{\circ}$ iz koje zračenje dolazi je znatno šira nego za $l > 50^{\circ}$.

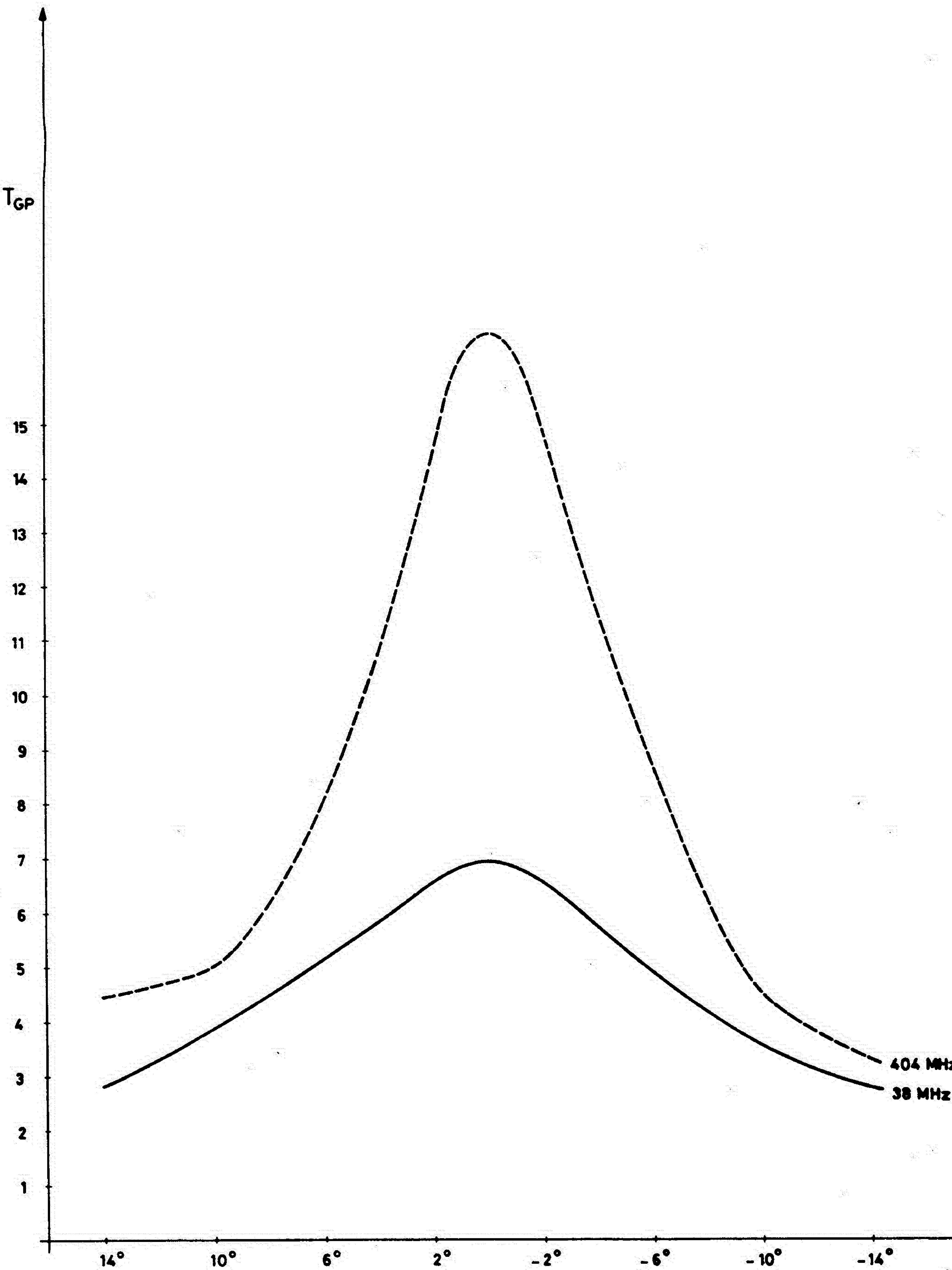
6. U oblasti anticentra svaka kontura dostiže najveće udaljenje od ekvatora prvo na južnoj galaktičkoj polulopti, i to za nižu vrednost longitude, a posle na severnoj, za veću vrednost longitude.

7. Radio-zračenje Mlečnog Puta nije najslabije u pravcu anticentra već za $l = 240^{\circ}$.

8. Radio-zračenje Mlečnog Puta slabi kako longituda raste, s tim što se na više longituda zapažaju strmiji padovi u vidu stepenika.

9. U oblasti anticentra, a naročito oko $l = 140^{\circ}$, gradijent pada temperature je mnogo veći za negativne no za pozitivne latitute.

$l = 12^\circ$



Slika 38. Latitudni presek

10. U oblasti niskih longituda $l < 50^\circ$ gradijent pada temperature je isto veći sa južne strane no sa severne.

Pored svih ovih karakteristika postoji jedna veoma izrazita na 38 MHz a koja na pregledima više učestanosti nije prisutna. To je postojanje "uskog grla" na $l \approx 18^\circ$. Tu konture koje su za male longituda tekle skoro paralelno galaktičkom ekvatoru naglo mu se približavaju da bi se posle par stepeni vratile skoro na prvobitan pravac. Ta oblast je izrazita i na karti gde je jonosferska apsorpcija uzeta u obzir (sl.35) i gde nije uzeta u obzir (sl. 24). Mereni podaci su dobrog kvaliteta, ponovljeni su, tako da ne postoji razlog za sumnju u njihovu ispravnost. Podrobno razmatranje te oblasti je dato u posebnom odeljenju.

4.3.2. Latitudni presek

Jedan od načina da se analizira zračenje Mlečnog Puta jeste da se nacrtaju preseki duž konstantne longituda odnosno upravno na galaktičku ravan. Naročito je korisno uporediti preseke na istim longitudama ali različitim učestanostima. Na sl. 38. je dat presek upravan na galaktičku ravan za $l = 12^\circ$. Na njemu je radi lakšeg poredjenja ucrtan količnik antenskih temperatura iz oblasti Mlečnog Puta i antenske temperature severnog galaktičkog pola kao funkcija galaktičke latituda. Odgovarajući grafik za 38 MHz dat je punom linijom a na 404 MHz isprekidanom. Na obe učestanosti su primenjene sve popravke koje su bile ocenjene od strane autora tih pregleda kao nužne. Obe krive su skoro simetrične u odnosu na galaktički ekvator; južna strana je nešto strmija. Sa slike se odmah vidi da je raspodela znatno niža i zaobljenija na 38 MHz. Tumačenje te razlike jeste da je ona uzrokovana apsorpcijom preko slobodnih prelaza elektrona u

oblacima jonizovanog vodonika. Tih oblaka ima naročito mnogo oko galaktičke ravni što se zna iz posmatranja kako u optičkom tako i u radio-području.

Mogućnost da apsorpcija od strane oblaka jonizovanog vodonika toliko utiče posebno je razradjivana još 1963. godine (Hoyle and Ellis 1963).

Na učestanostima ispod 20 MHz sa dovoljno velikom razdvojnomoći zapaženo je da na $b = 0^\circ$ postoji izrazit pad intenziteta zračenja kao posledica medjuzvezdane apsorpcije (Kommisaroff 1961, Ellis and Hamilton 1966, Reber 1968, Shane et al. 1961 i reference u njima).

Posmatranja na 38 MHz izneta u ovom radu su suviše male razdvojne moći da bi se moglo reći samo na osnovu njih da li minimum na $b = 0^\circ$ ne postoji zbog nedovoljne apsorpcije ili premale razdvojne moći. Tek poredjenje sa neobjavljenim delom pregleda neba na 38 MHz velike razdvojne moći (Baldwin 1979) je omogućilo da se izvuče zaključak da je blaga zaobljenost minimuma na $b = 0^\circ$ na 38 MHz više posledica male razdvojne moći. Baldwinova karta (1979) pokazuje postojanje dubokih apsorpcionih oblasti duž galaktičkog ekvatora.

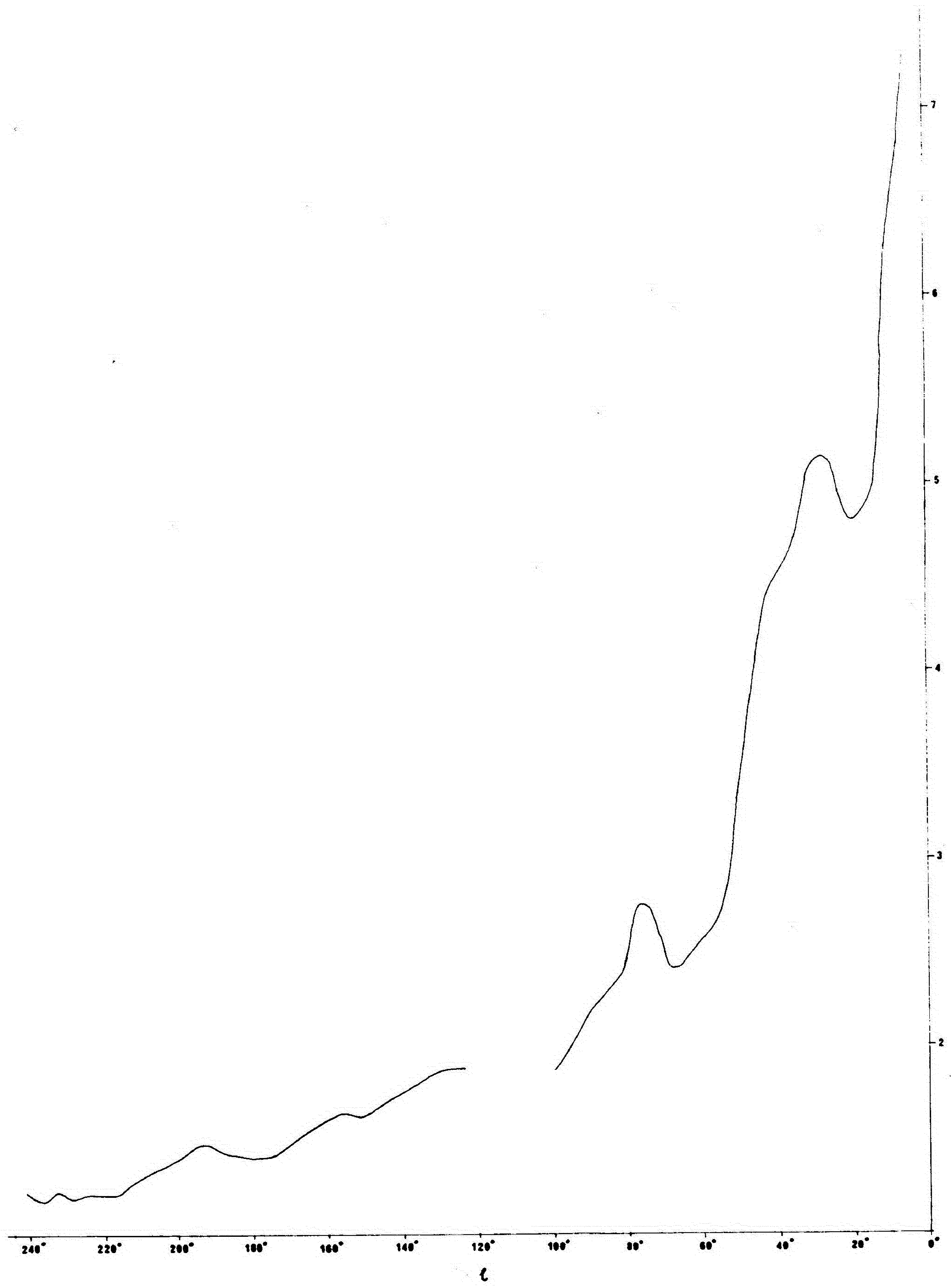
Slično ponašanje je uočeno i sa drugim longitudama koje odgovaraju unutrašnjim delovima Galaksije.

4.3.3. Longitudni presek

Sledeći klasike radio-astronomije (e.g. Mills 1959), posmatranja na 38 MHz su data i preko grafika koji prikazuje ponašanje temperatura duž galaktičkog ekvatora (sl. 39). Sa slike

38 MHz
b=0°

$T_t/10$



Slika 39. Longitudni presek na 38 MHz za $b=0^\circ$.

3 . se jasno vidi da temperatura uglavnom opada sa porastom longitude. Ako izuzmemo oblast oko $l \approx 18^\circ$ i sjajne izvore Cas A i Cyg A, longitudni grafik na 38 MHz ima isto stepenast oblik, mada srazmerno zaobljen s obzirom na širinu dijagrama antene.

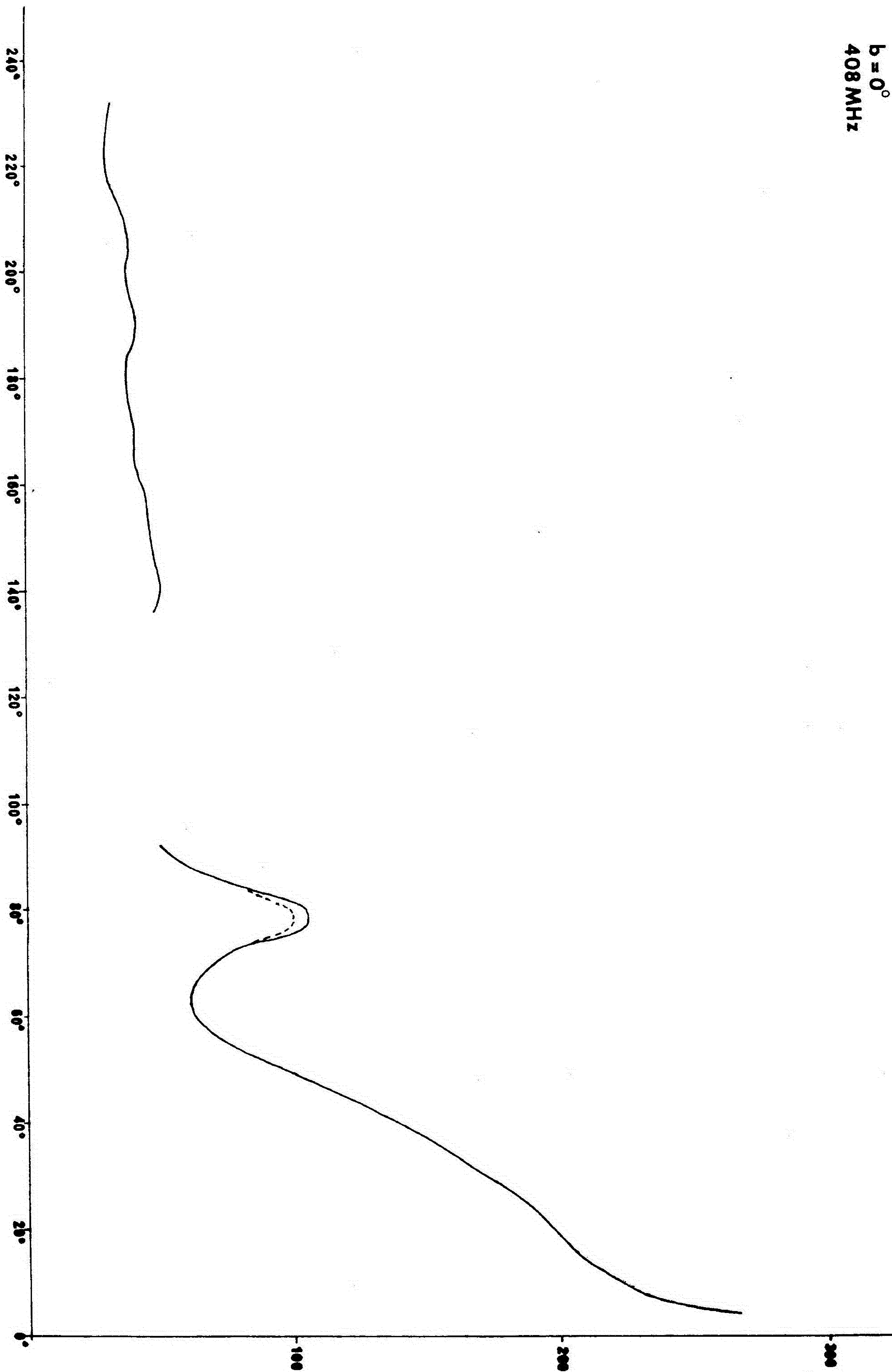
Od tri nagla pada temperature - stepenika koje je još Mills (Mills 1959) primetio na 87,5 MHz za $l > 0^\circ$, na slici 37. uočljiva su dva stepenika i to za $l \approx 30^\circ$ i $l \approx 40^\circ$. U tom delu temperatura opada brzo sa longitudom, dok posle $l \approx 60^\circ$ taj pad postaje spor.

Dubok minimum oko $l = 18^\circ$ je odraz "uskog grla" na karti oko $l \approx 18^\circ$. Tu je, kako je pokazano u 4.3.4., apsorpcija od strane bliskih oblaka H II smanjila sjaj neba.

Pored nabrojanih stepenika mogu se zapaziti još neki manji padovi na longitudinalnom preseku. Na $l \approx 60^\circ$ vidi se jedan blag skok koga pominje i Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971) na 820 MHz. Na $l \approx 85^\circ$ možda takodje jedan stepenik, na $l \approx 130^\circ$ skok na koji je ukazao Solter (Salter 1970) na 408 MHz, zatim znatno izrazitiji skok na $l \approx 155^\circ$, koji je opisala i Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971) i skok na $l \approx 195^\circ$. Na karti neba na 38 MHz vidi se i jedan manji skok na $l \approx 250^\circ$, $b \approx -2^\circ$.

Interpretaciju stepenika dao je prvi sam Mills (Mills 1959), navodeći da oni moraju nastati u pravcima tangencijalnim na spiralne grane ako su one glavni izvor netoplotnog zračenja. Tu ideju su razradili Henburi Braun i Hazard (Hanbury Brown and Hazard 1960) za kružne i proste spiralne grane a sedamdesetih godina cela plejada autora za složenije slučajeve (Price 1974, Paul et al. 1976, French and Osborn 1976, Brindle et al. 1978).

$b = 0^\circ$
408 MHz



Slika 40. Longitudni presek na 408 MHz.

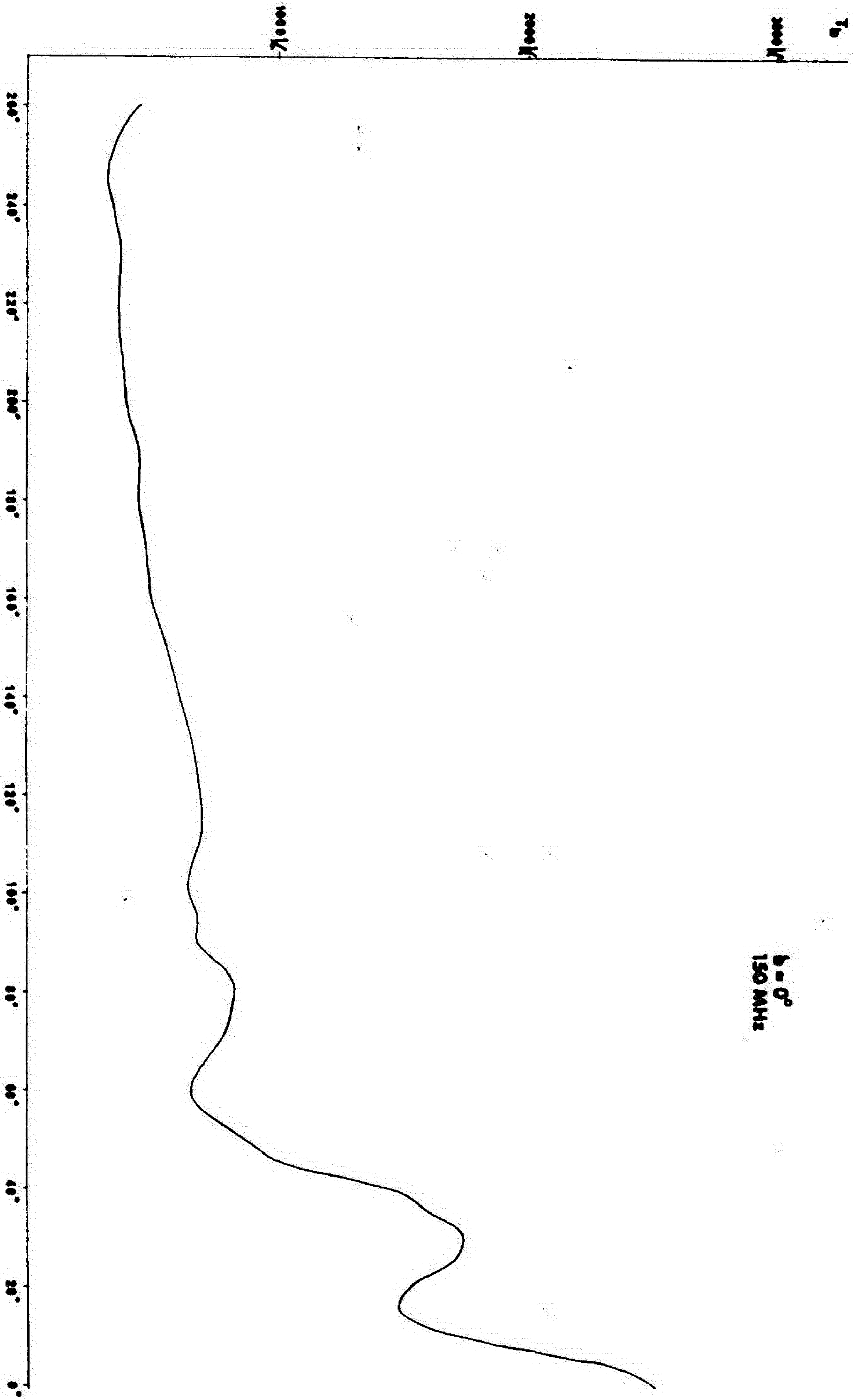
Iscrtkana linija je dobijena posle oduzimanja doprinosa Cyg

Longitudni presek na 38 MHz zbog male razdvojne moći ne može biti od koristi kao polazni materijal za modeliranje i procenu modela ali može biti zanimljiv za poredjenje sa drugim posmatračkim podacima i za poistovećenje pojedinih njegovih oblika sa komponentama strukture Galaksije.

Longitudni presek na 38 MHz je najpravilnije porediti sa longitudinalnim presekom iste razdvojne moći (sl. 40) izvedenim iz podataka na 408 MHz (Haslam 1975). Najbitnija razlika medju njima je odsustvo minimuma na $l \approx 18^\circ$, koja dokazuje da taj minimum ne može biti posledica male gustine materije u tom pravcu jer bi se u tom slučaju zapažao na obema učestanostima.

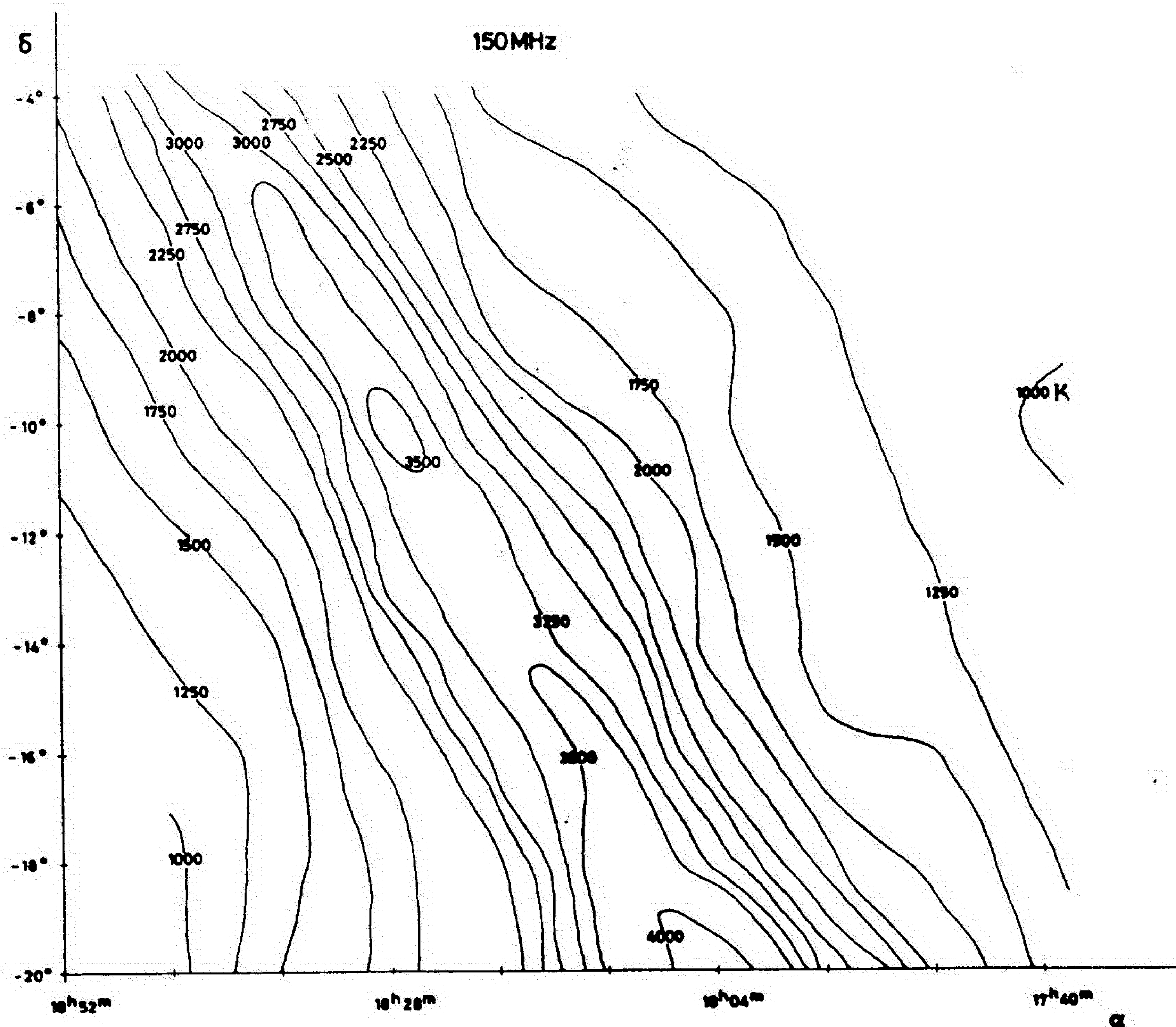
Poredjenje sa longitudinalnim presecima zračenja CO, H166 λ , δ , 5GHz, sabranih u (Burton and Gordon 1978), i 408 MHz visoke razdvojne moći (Haslam et al. 1980, Green 1972 in Baldwin 1976) pomaže da se sagleda da u oblasti $4^\circ < l < 35^\circ$ nerazdvojena komponenta radio-zračenja pokazuje blag pad sa longitudinalom a da jaki izdvojeni izvori stvaraju utisak da se na $l \approx 16^\circ$ i u tim područjima nalazi minimum zračenja a na $l \approx 10^\circ$, $l \approx 24^\circ$ i $l \approx 34^\circ$ porast zračenja. Kriva za 408 MHz je data na sl. 39.

U često navodjenom radu Landekera i Vilebinskog (Landecker and Wielebinski 1970) na 150 MHz nisu dati brojni podaci za $b=0^\circ$, ali srednja vrednost temperatura na $b=-5^\circ$ i $b=+5^\circ$ daje longitudinalni profil (sl. 41) koji liči na krivu sa 38 MHz (sl. 39). Nanovo nacrtana karta na osnovi podataka Landekera i Vilebinskog (sl. 42) pokazuje porast na $\delta \approx 5^\circ$, mada objavljena karta (Landecker and Wielebinski 1970) toga nema. Pošto je 150MHz srazmerno visoka učestanost da bi se tu očekivala znatnija apsorpcija, sličnost sa profilom na 38 MHz bi se možda mogla da protumači time što taj deo neba sadrži intenzivne



b = 0°
150 MHz

Slika 41. Longitudni preseki na 150 MHz.



Slika 42. Karta oblasti galaktičkog ekvatora u centralnoj polulopti izvedena iz podataka Landekera i Vilebinskog (Landecker and Wielebinski 1970).

radio-izvore a antena je imala srazmerno uzan snop od oko 2° , nedovoljno širok da njihov uticaj izgadi. Medjutim, ne bi se moglo isključiti ni neko drugo tumačenje.

Poistovećenje pojedinih oblika longitudinalnog preseka sa spiralnom strukturom Galaksije je posebno zanimljiv zadatak. Slika strukture koju su prema raspodeli neutralnog vodonika načinili Ker i Vesterhaut (Kerr and Westerhout 1965) pokazala se nedovoljno pouzdanom u detaljima. Razlog, u njihovo vreme nepoznat, uticaj nerotacionih brzina, principijelno je veoma velika prepreka (e.g. Burton 1976 i reference u njemu). Slika spiralne strukture koju su iz posmatranja jonizovanog vodonika izveli Žorželinovi (Georgelin and Georgelin 1976) izgleda u mnogo čemu drukčije, mada su osnovne spiralne grane ostale. Posmatranja na 38 MHz o kojima je ovde reč ne mogu razrešiti dilemu izmedju raznih struktura ali je radi boljeg sagledavanja značenja podataka potrebno povezati sa onim spiralnim oblicima koji nisu sporni.

Tako u pravcu $l \approx 30^\circ$ stepenik bi odgovarao tzv. spiralnom kraku u Štitu.

Stepenik na $l \approx 45^\circ$ vezan je sa tangencijalnim pravcem na tzv. Strelčev krak.

Dubok minimum oko $l \approx 67^\circ$ odgovara procepu izmedju Strelčevog i Persejevog kraka.

Prema današnjim shvatanjima sporedni ali lokalni ogranač vidljiv u sazveždju Labuda nalazi se na $l \approx 80^\circ$, slučajnim sticajem okolnosti pored sjajnog vangalaktičkog izvora Cyg A. Podrobnije o ogranku u Labudu na 38 MHz dato je u Glavi 7.

Oštri pad na $l \approx 130^\circ$ koji se proteže skoro do $l \approx 150^\circ$ je posebno zanimljiv jer je to oblast gde je gradijent tempe-

rature sa latitudom duž južne strane Mlečnog Puta mnogo strmiji nego na severnoj strani. Sličnu pojavu je uočio još Solter (Salter 1970) na 408 MHz. On je dao dodatne dokaze za Redišovu hipotezu (Reddish 1967) da se oko $l = 140^\circ$ događa stvarni diskontinuitet u Galaksiji. Solter je našao da na $l \approx 140^\circ$ radio-zračenje Mlečnog Puta nestaje uska i sjajna komponenta koja se mogla pratiti za $120^\circ < l < 140^\circ$. Tzv. medjukrak na slici Kera i Vesterhauta (1965) se prekida baš na $l \approx 140^\circ$. Približno na toj longitudi težište raspodele neutralnog vodonika (Lindblad 1967, Burton 1976) silazi ispod galaktičke ravni gde i ostaje do granice ovog pregleda neba ($l \approx 250^\circ$). Ispod galaktičke ravni se tu nalazi i težište galaktičkog zračenja, i na tako niskim učestanostima kao što je to 38 MHz. Ovu koincidenciju treba shvatiti kao veoma jak argument da se sinhrotronsko zračenje stvara tamo gde je i vodonik. Svi drugi argumenti počev od onog koji je sugerisao Mills (Mills 1959) zavise od izabranog modela. Stepjenik na $l \approx 155^\circ$ koji ide sve do $l \approx 175^\circ$ takodje ima svog pratioca u padu integrisane gustine neutralnog vodonika. Možda bi se moglo reći da je taj pad uslovljen naglim padom gustine u Persejevom kraku kada bi postojalo više podataka oko $l = 180^\circ$.

Sa nastavkom Persejevog kraka koji se kod Kera i Vesterhauta (1965) zapaža a kod Žorželinovih (Georgelin and Georgelin 1976) ne, izgleda da je povezan stepjenik u pravcu $l \approx 195^\circ$. Taj krak verovatno i čini da intenzitet radio-zračenja nije minimalan u pravcu $l \approx 180^\circ$ već tek u pravcu $l \approx 240^\circ$ gde se taj krak gubi.

Mora se, medjutim, još jednom podvući da su mnogi detalji u spiralnoj strukturi neizvesni pa se zato ni veza izmedju

pojedinih oblika u raspodeli HI i zračenja na 38 MHz ne može uvek smatrati dokazanom.

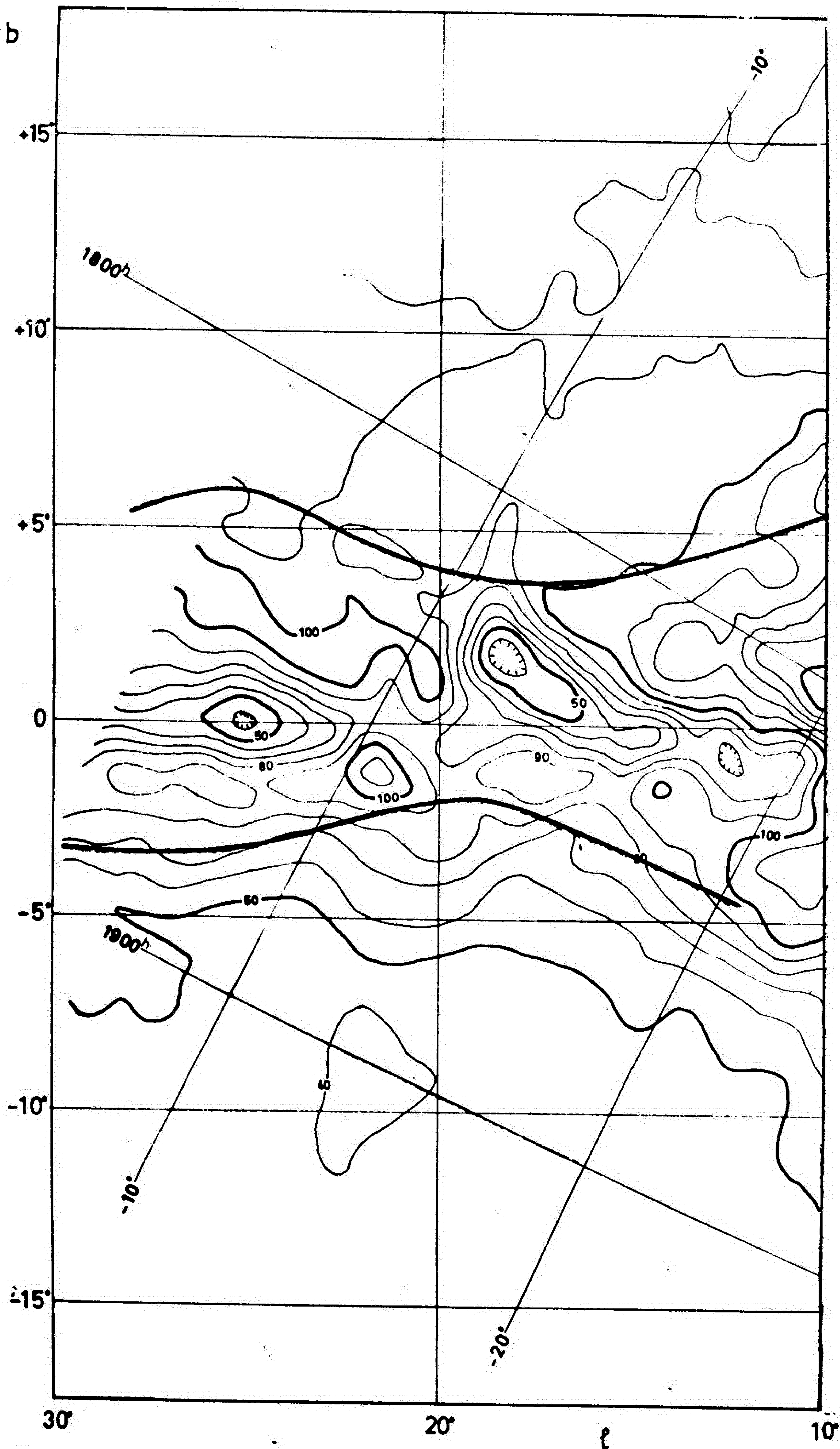
4.3.4. Upadljiva oblast zračenja oko $l \approx 20^\circ$, $b \approx 0^\circ$

Već na prvi pogled pada u oči da intenzivno radio-zračenje koje na 38 MHz dolazi iz opšteg pravca galaktičkog središta pokazuje izrazitu promenu oblika oblasti zračenja za $12^\circ < l < 30^\circ$. Iako bez posebnog istraživanja ne može da se pouzdano utvrdi da li je takav oblik nastao povećanom apsorpcijom oko $l \approx 17^\circ$ ili povećanom emisijom na $l \approx 28^\circ$, intuitivan zaključak je da se tu radi o apsorpciji.

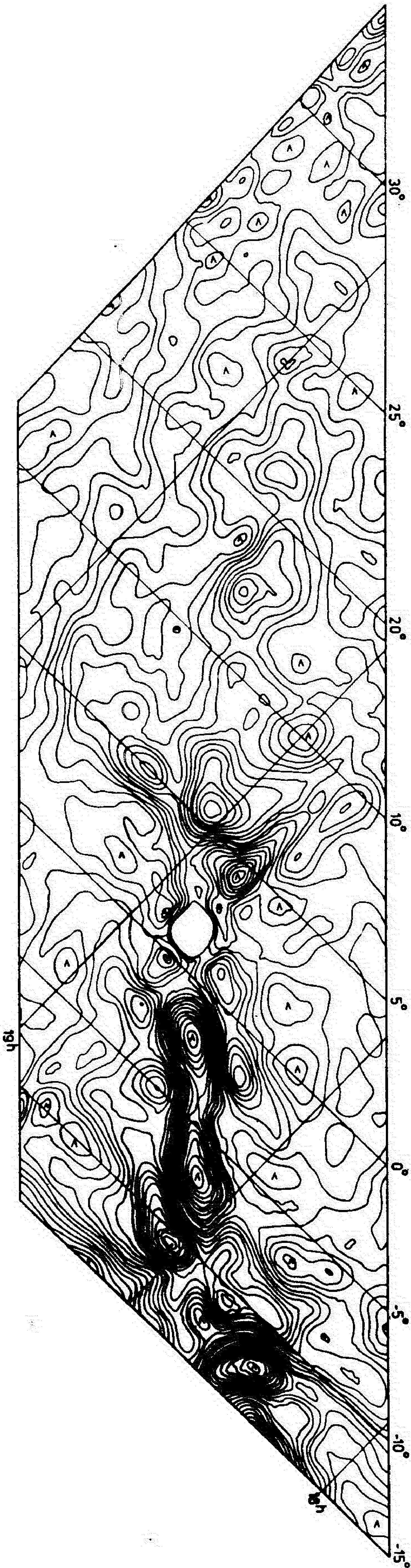
Uzučavanje ovog oblika je sprovedeno u ovoj tezi kako kvalitativno tako i kvantitativno.

Uvid u raspoložive odgovarajuće preglede neba je pokazao da je takav oblik zračenja Mlečnog Puta oko $l \approx 18^\circ$ prisutan samo na pregledima neba niskih učestanosti. On je vidljiv i na jednom od prvih pregleda neba, istorijskom radu Boltona i Vestfolda (Bolton i Westfold, 1951) na 64 MHz, kao i na prvom pregledu visoke razdvojne moći na 38 MHz (Blythe, 1953).

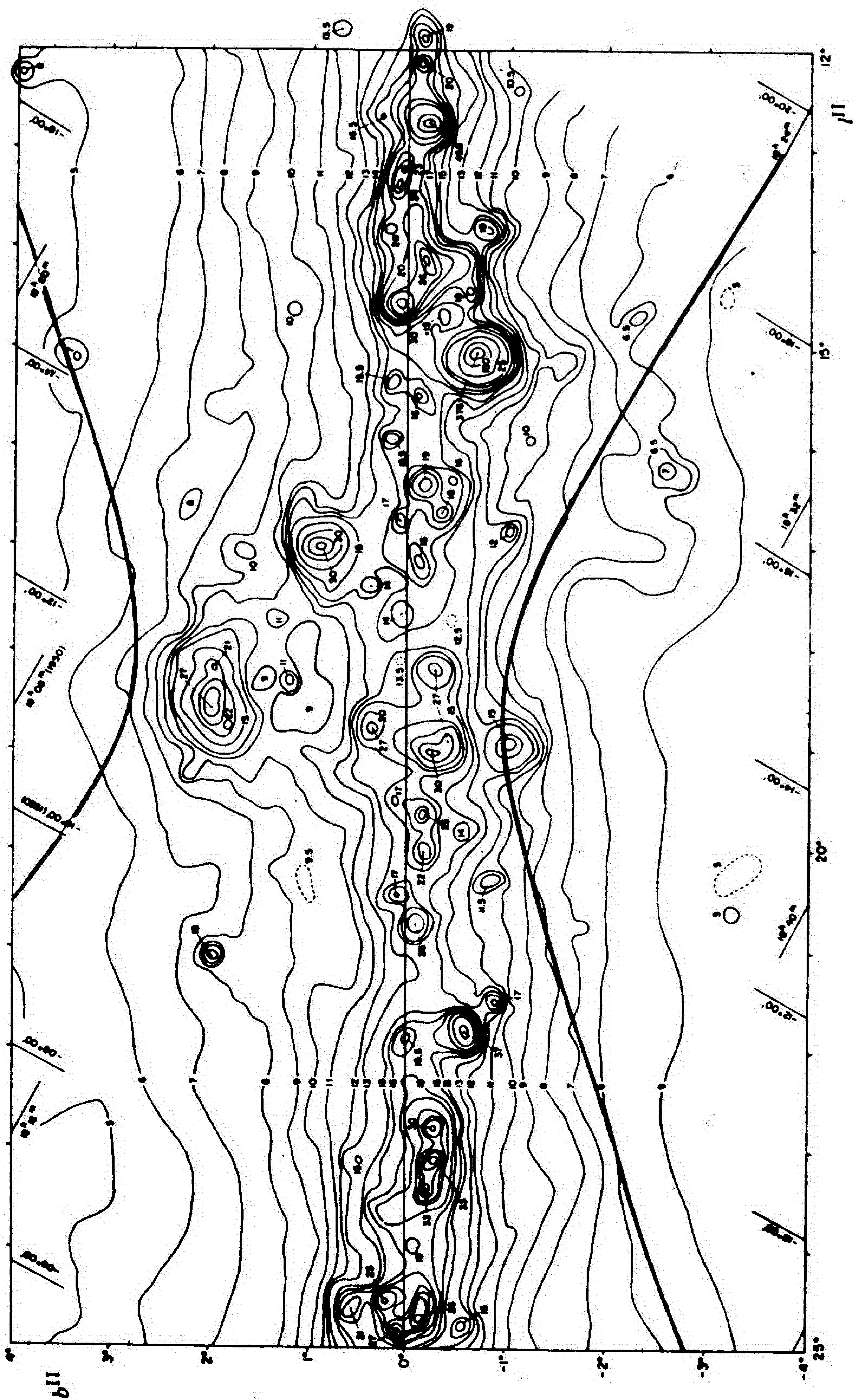
Duboki minimum se zapaža u ovoj oblasti na svim pregledima neba načinjenim na učestanostima ispod 30 MHz a razdvojne moći ispod 8° (Shain et al. 1961, Ellis and Hamilton 1966, Reber 1968, Hamilton and Haynes 1968, Jones and Finlay 1974, Cane 1975, Cane and ~~Whitham~~ 1977). Iako skorašnja posmatranja sa RAE2 mesečevog satelita na učestanostima ispod 10 MHz (Novaco and Brown 1978) ne pokazuju apsorpciju u tom delu neba, to se može objasniti time što je u njihovom slučaju upotrebljena antena veoma širokog snopa.



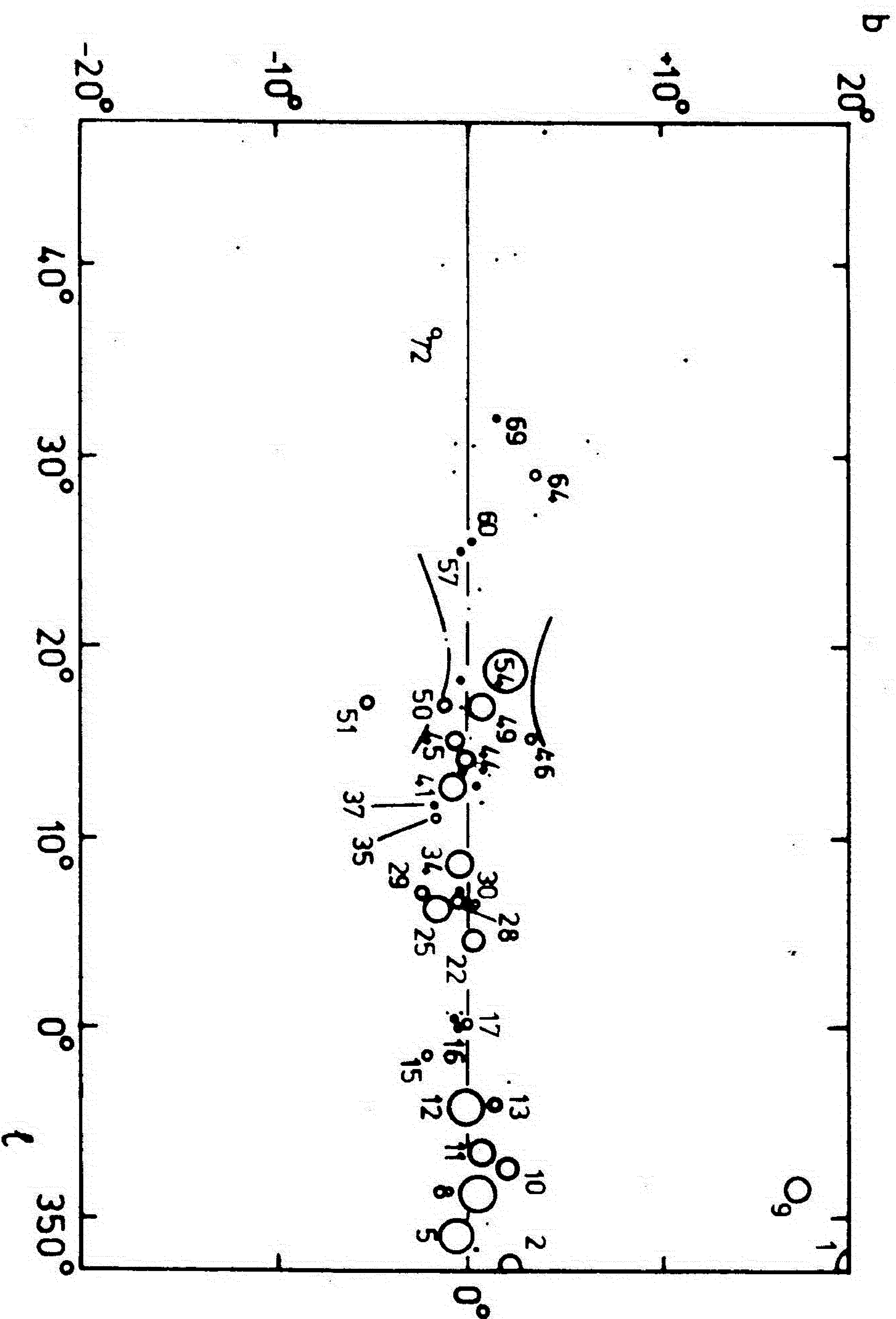
Slika 43. Konture sa pregleda na 38 MHz od 46 000 K
superponovane preko dela karte na 29,9 MHz.
(Jones and Finlay 1974).



Slika 44. Karta dela oko galaktičke ravni visoke razdvojnje
moći na 38 MHz (Baldwin 1979) u nebeskim ekvato-
rskim koordinatama.



Slika 45. Konture sa pregleda na 38 MHz od 46 000 K (MiloGradov - Turin and Smith 1973) superponovane preko karte na 1414 MHz (Altenhoff et al. 1970).



Slika 46. Konture sa pregleda na 38 MHz od 46 000 K (Milogradov-Turin and Smith 1973) superpovnovane preko raspodele optickih H II oblasti (Sharpless 1959).

Podrobno izučavanje apsorpcije u toj oblasti može se učiniti koristeći pregled neba na 29,9 MHz Džonsa i Finleja (Jones and Finlay 1974) razdvojne moći $0^{\circ},86$ na deklinaciji te oblasti. Najveće smanjenje sjaja na njihovoj karti se zapaža upravo tamo gde je sedloliko suženje na 38 MHz. Apsorpciona oblast na 29,9 MHz sa središtem na $l \approx 18^{\circ},4$, $b \approx 1^{\circ},7$ ima izdužen oblik. Slika 43. predstavlja konture sa pregleda na 38 MHz (Milogradov-Turin and Smith 1973) koje odgovaraju temperaturi sjaja od 46 000 K superponirane preko odgovarajućeg dela pregleda na 29,9 MHz (Jones and Finlay 1974).

Sličnu sliku onoj koja se vidi na pregledu Džonsa i Finleja zapažamo i na neobjavljenom pregledu visoke razdvojne moći te oblasti na 38 MHz (Baldwin 1979). Ta karta (sl. 44) pokazuje jaku apsorpciju na $l \approx 18^{\circ}$, $b \approx 2^{\circ}$, jaku apsorpciju duž galaktičke ravni blizu $l \approx 25^{\circ}$ i emisiju na $b \approx 21^{\circ}$, $b \approx -1^{\circ}$, vrlo slično onome što je posmatrano na 29,9 MHz.

Deo neba oko $l \approx 18^{\circ}$ predstavlja na visokim učestanostima (e.g. Altenhoff et al. 1970) jaku emisionu oblast. Slika 45. pokazuje konture sedlolikog suženja na 38 MHz od Altenhova i saradnika (Altenhoff et al. 1970). Slika 46. pokazuje konture sedlolikog suženja na 38 MHz superponirane preko karte raspodele optičkih HII oblasti Šarplesa (Sharpless 1959). Očevidno je da tri velike HII oblasti S54, S49 i S45 leže upravo u onom delu neba gde je i izdužena apsorpciona oblast na 29,9 MHz tako da te magline moraju biti bar najvećim delom odgovorne za smanjenje sjaja u tom pravcu na 29,9 MHz pa i 38 MHz. Najneprovidniji oblak medju njima prema položaju minimuma je S54. S49 je poznata kao Orao maglina odnosno M16, a S45 kao Omega maglina, odnosno M17. Sve te tri HII magline imaju velike uglovne dimenzije i ispunjavaju značajan deo snopa antene širine

$7^{\circ} 1/4$ i $8^{\circ} 1/4$. Nalaze se oko 2 kpc daleko od nas (e.g. Georgelin and Georgelin 1976) i imaju znatnu optičku dubinu (Jon and Finlay 1974). Svi ti činioci mogu biti preduslovi da bi na pregledu neba na 38 MHz teleskopom Mark I njihovo prisustvo osetilo i to kao što posmatranja pokazuju kroz sedloliko sužnje kontura na $l \approx 18^{\circ}$ i $l \approx 0^{\circ}$. Iako ih Žorželinovi (Georgelin and Georgelin 1976) nisu svrstali među važne HII oblake, oni su ipak dovoljno bliski, veliki i gusti da bi delovali kao zakloni na nižim učestanostima.

Iako već ovaj kvalitativni prilaz ukazuje da kompleks maglina S54, S49 i S45 uzrokuje smanjenje sjaja na 38 MHz poželjno je i kvantitativno dobiti procenu njihovog uticaja da bi se mogao izvesti određeniji zaključak.

Odgovarajući račun bio je obavljen polazeći od dobro poznatog izraza za temperaturu sjaja u slučaju da u posmatranoj oblasti ima magline koja zaklanja zračenje pozadine a i sama zrači (e.g. Osterbrock 1974).

$$T(f) = T_{FG}(f) + T_e (1 - e^{-\tau(f)}) + T_{BG} e^{-\tau(f)} \quad (4.1)$$

gde je $\tau(f)$ optička dubina magline na učestanosti f , $T_{FG}(f)$ i $T_{BG}(f)$ su temperature sjaja zračenja koje dolazi iz oblasti između magline i posmatrača i iz oblasti iza magline, respektivno, a T_e je elektronska temperatura u toj HII maglini.

Sama optička dubina je (e.g. Osterbrock 1974)

$$\tau(f) = 8,235 \times 10^{-2} T_e^{-1,35} f^{-2,1} \int \langle n_e \rangle^2 dl \quad (4.2)$$

gde je f dato u GHz, dužina puta kroz apsorbujuću sredinu u parsecima a broj elektrona n_e dat u cm^{-3} .

Temperatura sjaja u oblasti neba pored magline je

$$T(f) = T_{FG}(f) + T_{BG}(f). \quad (4.3)$$

Ta temperatura je najverovatnije jednaka temperaturi po sjaju koja bi bila zabeležena u pravcu magline kada te magline ne bi bilo.

Stoga promena temperature po sjaju koju je uzrokovala maglina je

$$\Delta T(f) = T_{BG}(f) - T_e / (1 - e^{-\tau(f)}) \quad (4.4)$$

Iako je taj izraz veoma jednostavan, on se ne može neposredno primeniti u slučaju pregleda manje razdvojne moći kao što je ovaj na 38 MHz, uglavnom zbog sledeća dva razloga. Prvo, neizvodljivo je naći oblast koja bi se mogla smatrati "susednom" oblašću zbog prevelikog broja izvora čije se zračenje unutar širokog snopa sliva. Drugo, teško je tačno izvesti vrednost temperature T_{FG} zbog nepouzdanosti poznate emisivnosti u Galaksiji (e.g. Krymkin 1978).

Iz tih razloga odlučeno je da se potrebni podaci izvedu iz pregleda veće razdvojne moći. Najbliži po učestanosti, dobro određenog nivoa pregled je onaj na 29,9 MHz Džonsa i Finleja (1974) koji posle svodjenja na 38 MHz i razdvojnu moć od $7^{\circ},73$ može dati procenu apsorpcije u S54 kompleksu.

Svodjenje na istu razdvojnu moć je bilo izvršeno konvolucijom pomoću kružnog gausovskog glavnog snopa na polovini snage $7^{\circ},73$. Ta vrednost je ustvari geometrijska sredina širina stvarnog eliptičkog snopa. Izračunavanja su bila izvedena unutar kruga prečnika 20° što odgovara prvom minimumu dijagrama antene sa središtem u nekoliko izabраниh tačaka.

Iako bi bilo poželjno uporediti konvoluiranje vrednosti na 29,9 MHz sa pregledom na istoj učestanosti manje razdvojne

moći to se ne može učiniti na zadovoljavajući način. Pregled na 30 MHz Metjusona i saradnika (Mathewson et al. 1965) ima razdvojnu moć od 11° što čini neposredno poredjenje neopravdanim pogotovu u oblasti galaktičke ravni. Konvolucija pak na Gausovom funkcijom širine 11° je moguća samo daleko od ivice karte gde nas pak poredjenje ne zanima za svrhu ovog rada, jer ne mora predstavljati kvalitet karte u oblasti S54 kompleksa.

Sam toga, pregled na 30 MHz nema dovoljno pouzdano određeni osnovni nivo. Na to prvo ukazuju nezavisna merenja temperature po sjaju južnog galaktičkog pola (Cane 1979) na 30 MHz je oko 40% niža nego vrednost iz pregleda na 30 MHz. Kejnova (Cane 1978) je takodje našla da su temperature iz pregleda na 30 MHz posle svodjenja na istu učestanost znatno više no vrednosti iz apsolutno kalibrisanog pregleda na 38 MHz (Milogradov-Turin and Smith 1973). Iako se za procenu vrednosti konvoluiranih podataka u principu mogao koristiti korekcionni faktor činilo se neopravdanim koristiti onaj koji je Kejnova dobila jer nije pri izvodjenju tog faktora svodila na istu razdvojnu moć. Ona je poredila ravne oblasti da bi iznela taj faktor a u ovom slučaju bi ga trebalo primeniti na razdjeni deo oko Galaktičke ravni, Tačnost koja bi se time postigla ne bi bila dovoljna za svrhu provere pregleda na 29,9 MHz.

Svodjenje konvoluirane antenske temperature sa 29,9 MHz na 38 MHz takodje je bilo opterećeno nepouzdanom poznatim spektralnim indeksom u toj oblasti neba i tom opsegu učestanosti. Kao što sledi iz pregleda spektralnih indeksa izvedenih u ovoj tezi spektralni indeks izmedju 38 MHz i 40 MHz za $\beta \approx 16^{\circ}$, $\beta \approx 2^{\circ}$ je $\beta = 2,29$. Spektralni indeks izmedju 38 MHz i 29,9 MHz bi morao biti još manji zbog očekivane zakrivljenosti

spektra, mada ne možemo reći koliko. Krivina mora postojati kako zbog karakteristika sinhrotronskog zračenja tako i zbog apsorpcije od strane jonizovanog vodonika. Uzimajući $\beta = 2,0$ kao donju granicu a $\beta = 2,29$ kao gornju granicu dobijaju se u tački $l = 16^\circ$, $b = 2^\circ$ vrednosti 23% odnosno 15% više od posmatranih temperatura na 38 MHz. Takva razlika između konvoluiranih i svedenih vrednosti Džonsovog i Finlejevog pregleda (Jones and Finlay 1974) i merenih antenskih temperatura na 38 MHz (Milogradov-Turin and Smith 1973) je čak iznenadjujuće mala s obzirom na savremene tehničke mogućnosti dva tako različita instrumenta kao što su sintetički teleskop s jedne strane i paraboloid s druge strane, na niskim visinama pogotovu. Stoga i sam postupak korišćenja pregleda Džonsa i Finleja (Jones and Finlay 1974) za svrhu ovog rada je potpuno opravdan.

Prva veličina koja je bila izračunata iz pregleda na 29,9 MHz bila je temperatura T_{BG} , koristeći jednačinu (4.3). Temperatura $T'(29,9)$ je bila očitana sa karte dok je $T_{FG}(29,9)$ bila izvedena iz vrednosti za emisivnost J koju su izveli Džons i Finli (Jones and Finlay 1974), a za daljinu do maglina d je uzeta vrednost od 2 kpc prema Žorželinovima (Georgelin and Georgelin 1976) i smatramo da je

$$T_{FG} = Jd$$

Izračunata vrednost $T_{BG}(29,9)$ iskorišćena je da bi se iz jednačine (4.4) dobila optička dubina na 29,9 MHz. Smanjenje temperature sjaja T na 29,9 MHz je uzeto jednako srednjem smanjenju očitanoj preko cele izdužene oblasti sa središtem na $l \approx 18^\circ$.

Za izračunavanje smanjenja antenske temperature na 38 MHz koje bi odgovaralo razdvojnoj moći od $7^\circ,7$ bila je koriš-

ćena na odgovarajući način izmenjena jednačina 4.4.

$$\Delta T_a(38) = T_{BG}(38) - T_e / / 1 - e^{-\tau(38)} / \frac{\Omega_w}{\Omega_a} \cdot (4.5)$$

U njoj su Ω_w prostorni ugao koji odgovara posmatranim H II oblastima a Ω_a prostorni ugao dijagrama antene.

Za ekvivalentnu kinetičku temperaturu celog S54 kompleksa je uzeto 6000 K što je blisko srednjoj otežanoj vrednosti elektroske temperature sve tri magline prema pojedinačnim podacima iz Osterbroka (Osterbrock 1974). $T_{BG}(38)$ je dobijena svodjenjem na 38 MHz vrednosti za $T_{BG}(29,9)$ koristeći spektralni indeks koji su izveli Džons i Finli (Jones and Finlay 1974). Rezultat izračunavanja $\Delta T_a(38)$ za S54 kompleks je $2,2 \times 10^3$ K.

Izračunato smanjenje antenske temperature je manje od posmatrane dubine depresije oko $l \approx 18^\circ$ na galaktičkom profilu (slika 39) i to za $1,3 \times 10^3$ K. Ovakvo neslaganje ne treba smatrati prevelikim iz više razloga. Prvo, dubina depresije na longitudinalnom profilu ne mora poticati samo od apsorpcije na $l \approx 18^\circ$ već i od činilaca koji utiču na zračenje oko $l \approx 28^\circ$. Drugo, vrednost emisivnosti u pravcu S54 kompleksa nije tačno poznata i može biti drukčija od usvojene koju su za pravac $l \approx 347^\circ$, $b \approx 0^\circ$ izveli Džons i Finli (Jones and Finlay 1974). Sami ti autori su pokazali da emisivnost može veoma da varira čak i u dva susedna pravca. O tome koliko su nepouzdana poznate vrednosti emisivnosti detaljno je izneto u poslednjoj glavi teze. Moguće je da se one razlikuju od realnih za faktor 2 ili 3 čak. Vrednost izvedena za emisivnost u ovoj tezi za $l \approx 18^\circ$ nije korišćena jer je ona već sadržala posredno uticaj S54 kompleksa a i izvedena iz pregleda manje razvojne moći no onaj na 29,9 MHz. Treće, vrednost spektralnog indeksa između 29,9 MHz i 38 MHz nije dovoljno dobro poznata.

Imajući u vidu pouzdanost vrednosti korišćenih parametara mora se zaključiti da izračunata vrednost smanjenja sjaja govori u prilog već izvedenom kvalitativnom zaključku da kompleks maglina S54, S49 i S45 uzrokuje posmatrano sniženje temperature a time i sedloliki oblik kontura na karti neba za 38 MHz.

4.3.5. Anticentar

Želja da se objasne osnovne karakteristike karte neba na 38 MHz povukla je za sobom razmišljanja o opštoj osobini kontura u oblasti anticentra koja se javlja i na drugim učestanostima a to je da su konture iskrivljene na specifičan način. Svaka kontura dostiže najveće udaljenje od galaktičkog ekvatora na severnoj strani anticentra za veće longituda na južnoj strani (4.3.). Hornbi (Hornby 1966) je polazeći od helikoidalnog modela lokalnog magnetnog polja dobio za levoruku orijentaciju magnetnog polja sliku kontura koja je upravo obrnuta u odnosu na redosled longituda. To je navelo autora ove teze da ispita kakvi bi osnovni efekti desnorukog helikoidalnog magnetnog polja bili (Milogradov-Turin 1971). Već jednostavna analiza je pokazala da bi "smicanje" kontura tada bilo i po veličini i smeru veoma slično onome koje je posmatrano. Međutim, kako novija merenja galaktičkog magnetnog polja ne ukazuju na postojanje helikoidalne komponente (Heiles 1976b) problem "smicanja" kontura treba smatrati i dalje otvorenim.

4.4. STRUKTURA RADIO-ZRAČENJA NA VISOKIM GALAKTIČKIM LATITUDAMA

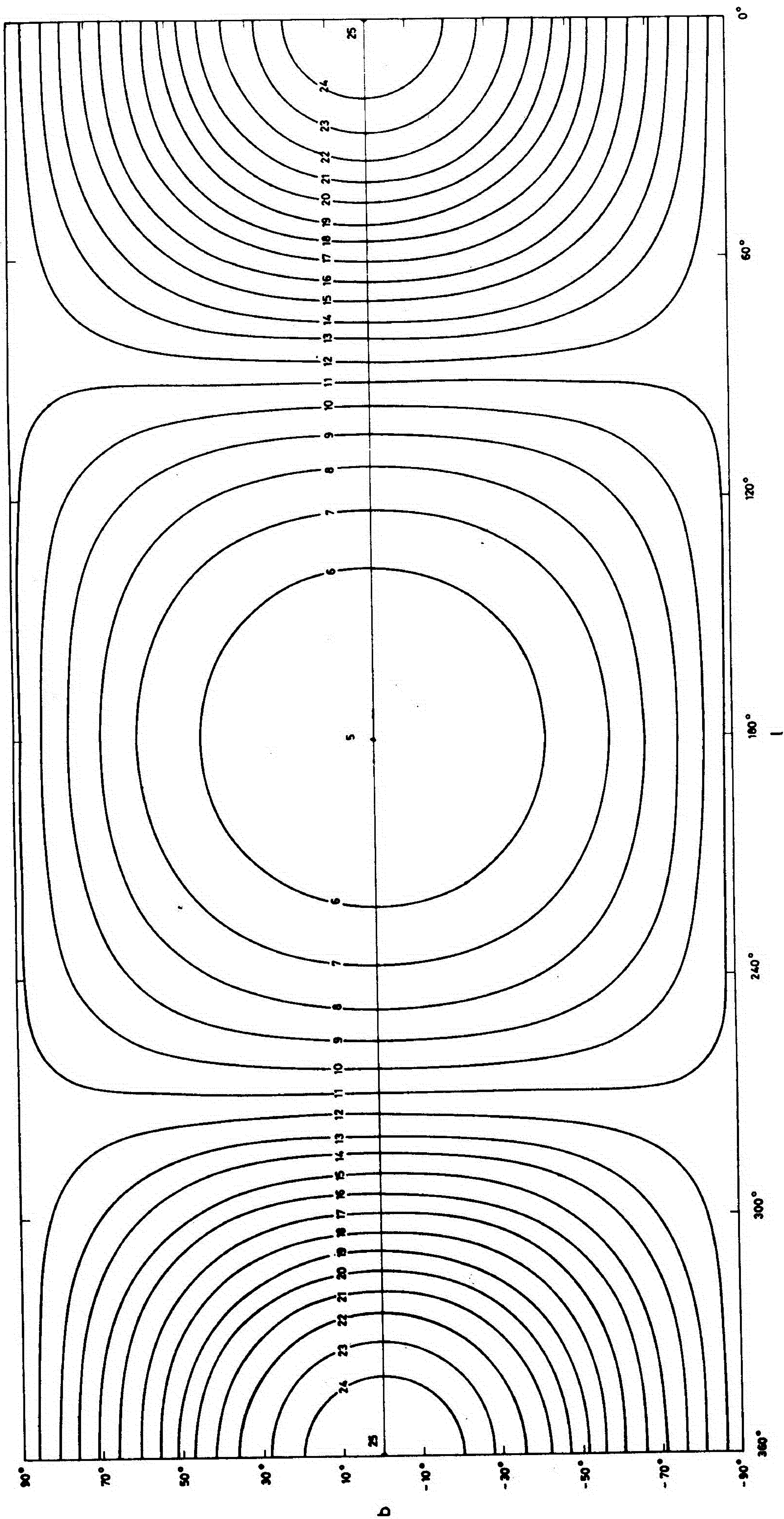
4.4.1. Osnovni činioci

Priroda radio-zračenja na visokim galaktičkim latitudama još uvek predstavlja otvoreno pitanje, iako danas postoji mnogo posmatranja, od radio-područja, preko optičkog do rendgenskog područja.

Van svake sumnje je da na izgled neba na visokim galaktičkim latitudama najviše utiče galaktička komponenta, jer su obe vangalaktičke komponente, reliktno zračenje i integrisano zračenje galaksija, ravnomerno zastupljene po nebu. Pojedinačno se na visokim latitudama u pregledu manje razdvojne moći mogu videti samo najsjajniji vangalaktički izvori (Cyg A, Vir A, Hya A).

Galaktička komponenta se sastoji, kako mnogi astronomi danas veruju, od zračenja galaktičkog diska, haloa i lukova. O udelu haloa postoje oprečna mišljenja iako se na tom problemu radi već skoro trideset godina. Današnji najvatreniji pobornici haloa su Webster (Webster 1975, Webster 1978) i Ginzburg sa velikom sovjetskom školom (e.g. Ginzburg 1979).

Milegradov-Turin i Ninković (1979) su pokušali da ispituju, sledeći Websterov postupak (Webster 1975), da li halo osetno doprinesi ukupnom zračenju na 38 MHz. Držeći se Websterovog prilaza u svim podrobnostima, uključujući i izbor ispitivane oblasti, Ninković (1979) je zaključio da radio-halo značajno utiče na karakteristike ukupnog



Slika 47. Linije konstantnog intenziteta zračenja sfernog haloa poluprečnika 15 kpc gde je Sunce 10 kpc daleko od središta.

zračenja na 38 MHz. Ninković (1978) je pokušao da odvoji zračenje diska, haloa i lukova, podešavajući posmatračkim profilima teorijske profile haloa i diska. On je čak izveo da je odnos emisivnosti diska i haloa na 38 MHz 12:1.

U suštini, sa pregleda neba je veoma teško zaključiti o postojanju haloa. Teškoća je u velikom broju lukova, pri čemu se najsjajniji među njima projektuje upravo na onaj deo neba koji je veoma podesan za ispitivanja u vezi sa haloom.

Doprinos haloa bi morao biti najveći u oblasti oko galaktičkog središta, jer u tom pravcu leži najveći deo haloa. Sem toga može se očekivati da bi i emisivnost haloa oko središta bila najveća. Raspodela zračenja koje bi stizalo od sfernog haloa poluprečnika 15 kpc, sa Suncem 10 kpc daleko od središta, data je na slici 47. Elipsasti halo ne bi dao bitno drukčiju raspodelu, kao što se to može videti iz 5.6.2. Osetno drukčiji položaj Sunca (e.g. Burke 1967) nije opravdano usvojiti.

Raspodela zračenja sfernog ili blago elipsastog haloa može lako da bude pogrešno zamenjena sa zračenjem Severnog Polarnog Luka sa spoljne strane grebena, jer je Luk slučajno oblika sličnog izofotama haloa u toj oblasti. Posmatranja te oblasti su pak najbrojnija zbog podesnog položaja za većinu severnih radio-astronomskih opservatorija. Ove činjenice su se pokazale veoma važnim (glava 8) za razvoj saznanja o komponentama galaktičkog zračenja.

Prilaz koji je autor ove teze koristio (glava 5.1 6) doveo je, primenjen na materijal ove teze, do zaključka da je radio-halo, ukoliko postoji, veoma slab objekat i da su lukovi daleko značajniji. Zbog toga će u ovoj glavi dalje biti govora samo o lukovima.

4.4.2. Zračenje lukova

4.4.2.1. Uvod

U ovom poglavlju su opisani lukovi onako kako se vide na 38 MHz i upoređeni sa posmatranjima na drugim učestanostima i sa drugim razdvojnim moćima. Opisani su samo oni lukovi sa kojima je pokušano udruživanje u male krugove.

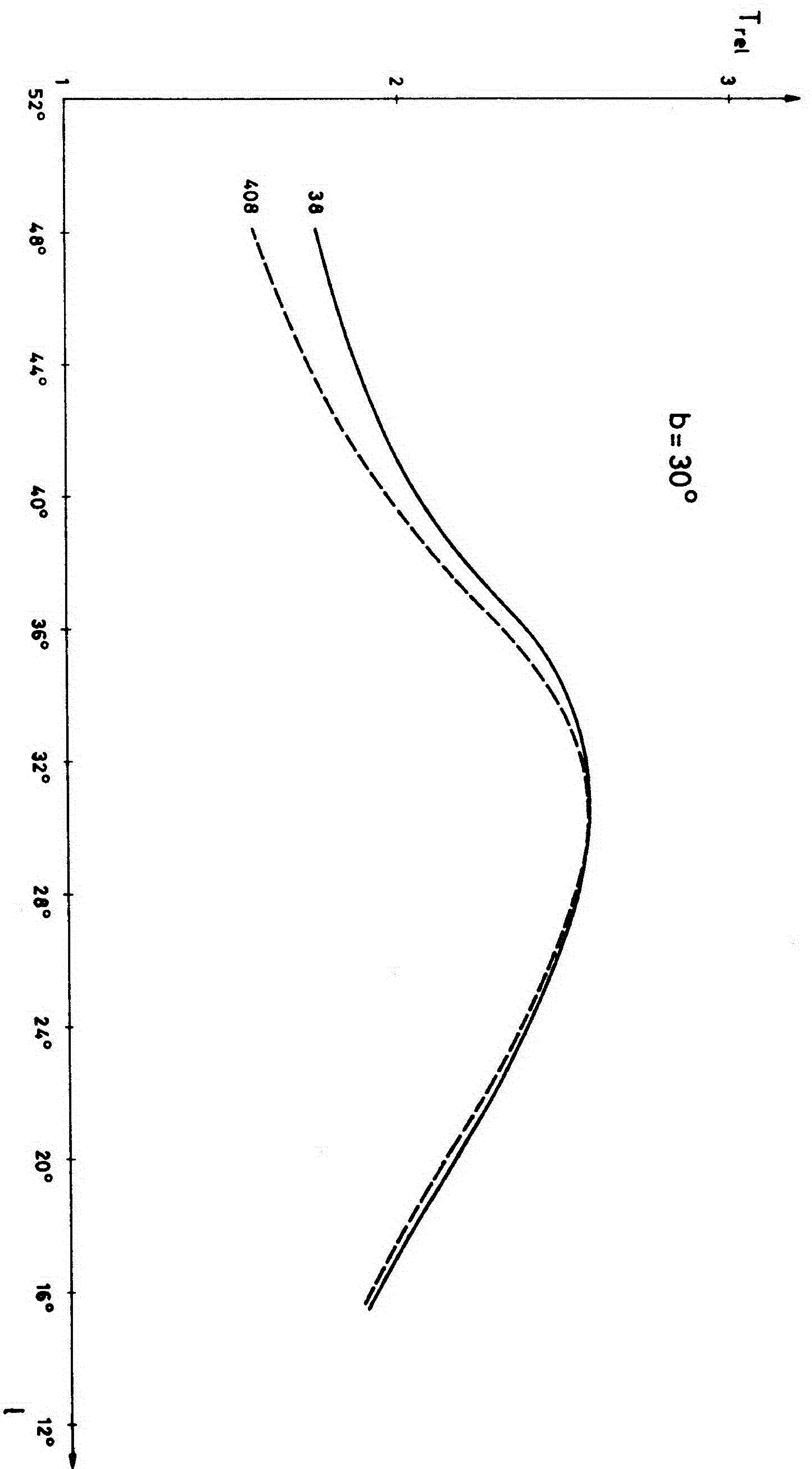
Kroz celu tezu pokušalo se pridržavati sledeće terminologije: luk je oblast povećanog radio-zračenja lučnog oblika, glavni greben luka je najintenzivniji deo luka dok se petljom naziva skup lukova koji leži duž jednog malog kruga nebeske sfere.

Pri opisivanju, korišćeni su za imena lukova nazivi sazveždja u kojima najveći deo datog luka leži, iz razloga lakšeg praćenja i pamćenja.

Najveći deo opisanih lukova su ustvari najznačajniji lukovi na severnoj nebeskoj polulopti.

4.4.2.1.1. Severni Polarni Luk

Jedan od najupadljivijih radio-objekata tzv. Severni Polarni Luk je i na ovom pregledu neba veoma značajan objekat. Severni Polarni luk na 38 MHz je čak čak srazmerno važniji objekat za izgled neba nego na visokim učestanostima, jer je Mlečni Put na 38 MHz slabiji zbog medjuzvezdane apsorpcije od Mlečnog Puta na visokim učestanostima. To se može na primer videti iz poredjenja slike 38. sa slikom 48. Na obe slike su dati koeficijenti antenskih temperatura objekta i antenske temperature



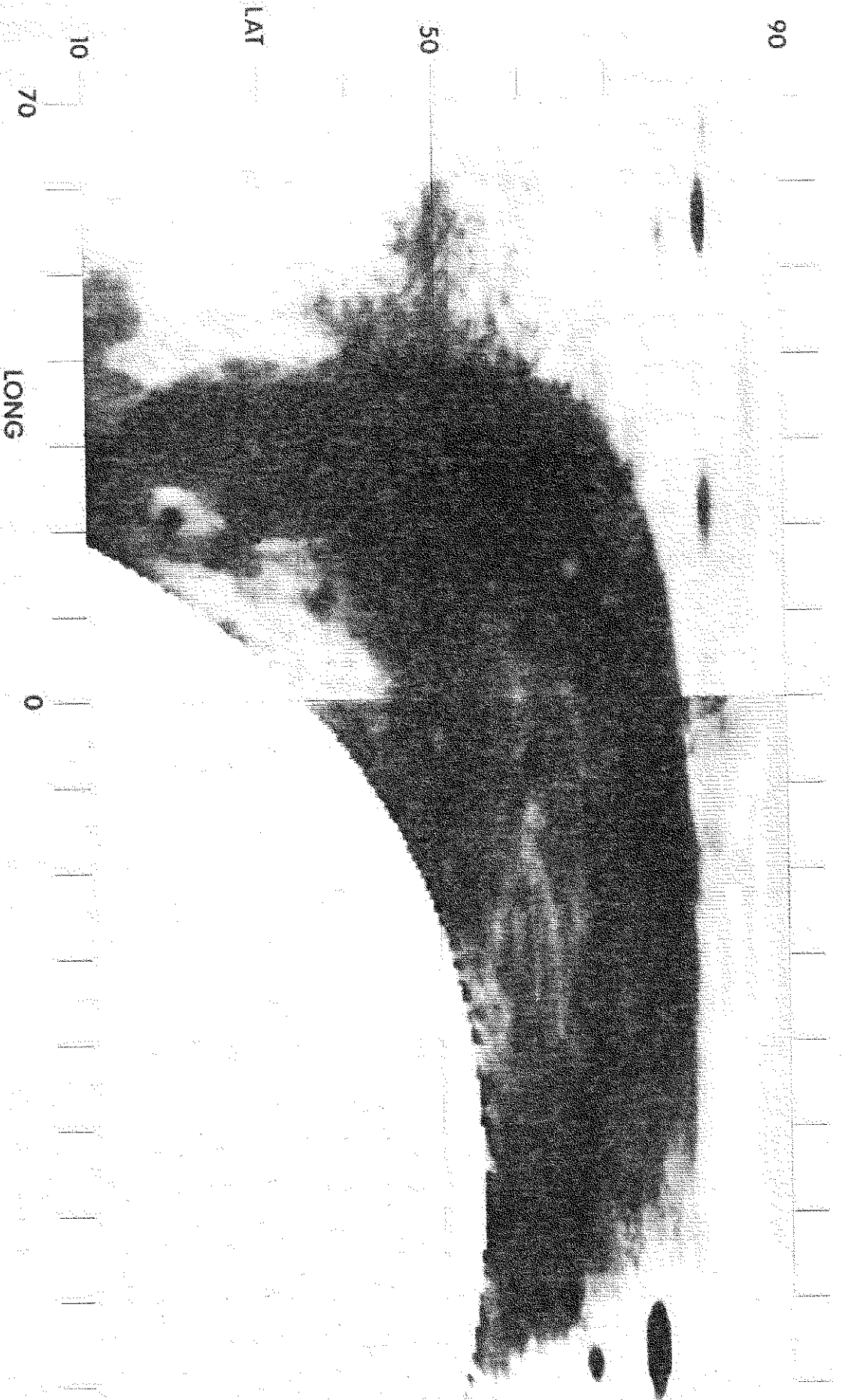
$b = 30^\circ$

Slika 48. Relativan odnos antenskih temperatura Severnog Polarnog Luksa i severnog galaktičkog pola na 38 MHz i 408 MHz.

severnog galaktičkog pola. Dok je Severni Polarni Luk na obe učestanosti u odnosu na pol sačuvao skoro isti sjaj, Mlečni Put na 38 MHz izgleda mnogo slabiji. Zanimljivo je uočiti da severni gradijent Severnog Polarnog Luka ($l > 30^\circ$) pokazuje veću promenu sa učestanošću no sam greben ($l = 30^\circ$) ili unutrašnjost ($l < 30^\circ$) Severnog Luka. Ta činjenica govori da je spektralni indeks dela severno od grebena znatno strmiji no u drugim delovima Petlje I (vidi glavu 5. i 6.).

Relativno smanjenje sjaja Mlečnog Puta do koga prirodnim putem dolazi na nižim učestanostima je slično onome koje je veštački izazvano na fotografiji sa slike 49. Tu fotografiju je autoru teze ljubazno dao Viver (Weaver 1976). Na slici je predstavljen Severni Polarni Luk na 820 MHz i Mlečni Put koga je računar oslabio tako da zračenje luka dolazi do većeg izražaja. Originalni podaci na 820 MHz su uzeti od Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1971). Ta fotografija veoma liči na sliku tog dela neba koju su teleskopima velike razdvojne moći načinili između 20 i 40 MHz Gidiči (Guidice 1971) i Kostejn (Costain 1976) na 22 MHz. Sličnost je naročito upadljiva na Kostejnovom pregledu koji je za tu priliku obradjen istom tehnikom.

Iako je razdvojna moć pregleda neba datog u ovoj tezi srazmerno mala, zanimljivo je uočiti da su mnoge značajne karakteristike Severnog Polarnog Luka vidljive na pregledima visoke razdvojne moći uočljive i na ovom pregledu. To su, pre svega: karakterističan srpoliki oblik luka, strmi spoljni gradijent sjaja i blag unutrašnji gradijent sjaja. Sjaj na nižim latitudama je veći no na višim.



Slika 49. Severni Polarni Inak na 820 MHz obraden od strane Vivera
(Weaver 1976) tako da je zračenje Mlečnog Puta uklonjeno.

Polazeći od mesta gde se Luk pomalja iz galaktičke ravni na 38 MHz, tj. od $l = 29^\circ$, $b = 18^\circ$, mogu se uočiti sledeće veze sa sitnom strukturom koja je poznata iz pregleda na drugim učestanostima i veće razdvojne moći.

Na mestu tzv. "uskog grla" (Haslam et al. 1964), tj. na $b = 16^\circ$, Luk na pregledu iz ove teze pokazuje nagib ka višim longitudama između $b = 14^\circ$, $l = 28^\circ$ i $b = 20^\circ$, $l = 31^\circ$. Počev od $b = 20^\circ$ glavni greben Luka je skoro upravan na galaktički ekvator sve do $b = 44^\circ$.

Mali nagib prema nižim longitudama između $b = 26^\circ$ i $b = 33^\circ$ je verovatno uzrokovan postojanjem dva grebena u tom delu koji se zapažaju na pregledima veće razdvojne moći.

Ispupčenje na nižim longitudama na $b = 26^\circ \div 30^\circ$ je verovatno odraz horizontalnog grebena koji je Berkhujsenova uočila na svom pregledu na 820 MHz na $b = 28^\circ$ (Berkhuijsen 1971).

Proširenje Severnog Polarnog Luka između $30^\circ < b < 40^\circ$ na stranu nižih longituda je verovatno posledica grebena koji su još Haslam sa saradnicima (Haslam et al. 1964) zapazili duž $l = 24^\circ$, a čiji najsjajniji deo leži na $b = 34^\circ$.

To što se položaji na pregledu manje i veće razdvojne moći ne podudaraju u potpunosti, prirodno je očekivati, jer se zbog konvolucije unutar širokog snopa, a naročito pri postojanju gradijenta pozadine, oni moraju razlikovati.

Posle malog otklona ka višim longitudama između $b = 42^\circ$ i 46° , najverovatnije uslovljenog grebenima koji su uočeni na pregledima visoke razdvojne moći, a obeležavaju sa a i b (e.g. Berkhuijsen 1971), glavni greben skreće ka nižim longitudama, savijajući se sve više i više. Na karti

na 38 MHz, glavni greben Severnog Polarnog Luka se može pratiti do $l = 324^\circ$, $b = 74^\circ$. Taj deo je rezultat konvolucije grebenova J i F kako su ih nazvali Lardž i drugi (Large et al. 1965).

Veoma je zanimljivo uočiti da se i na 38 MHz blizu $b = 50^\circ$ južni greben, kako ga je Holdenova nazvala (Holden 1969), odvaja od glavnog grebena ka unutrašnjem delu Luka i da se on lepo vidi na 38 MHz sve do $l = 344^\circ$.

Takodje je veoma važno podvući da je ispupčenje na spoljnjem delu Luka oko $b = 50^\circ$ realan objekat. Iako srazmerno slabog intenziteta, u njemu prema mišljenju Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1971) dolazi do oticanja elektrona upravno na Luk. To je deo u kome se mogu uočiti znatne promene: spektralnog indeksa (Landecker 1969 i glava 6. ove teze) i vektora polarizacije radio-zračenja (Berkhuijsen 1971). Na fotografski predstavljenoj radio-karti Severnog Polarnog Luka (Weaver 1976) to ispupčenje se naročito lepo vidi.

Grafici Severnog Polarnog Luka nacrtani duž konstantnih tabularnih latituda, gde su po ordinati nanete antenske temperature na 38 i 408 MHz iste razdvojne moći, pokazuju da ukoliko se svi opisani detalji Luka uzmu u obzir, pozadinsko zračenje ispod svakog latitudnog grafika može se smatrati konstantnim. Sličan zaključak je na drugi način izvela i Berkhuijsenova (1971). Ova činjenica ima veliki značaj za istraživanje spektralnih indeksa (glava 5. i 6.).

Profil u oblasti emisionog platoa ($l > 40^\circ$, $b = 50^\circ$), na 38 MHz je skoro iste visine kao i unutar Luka, dok je na 408 MHz, deo koji odgovara emisionom platou niži.

no deo unutar Luka. Drugim rečima, profil na 38 MHz je simetričniji u odnosu na glavni greben nego profil na 408 MHz.

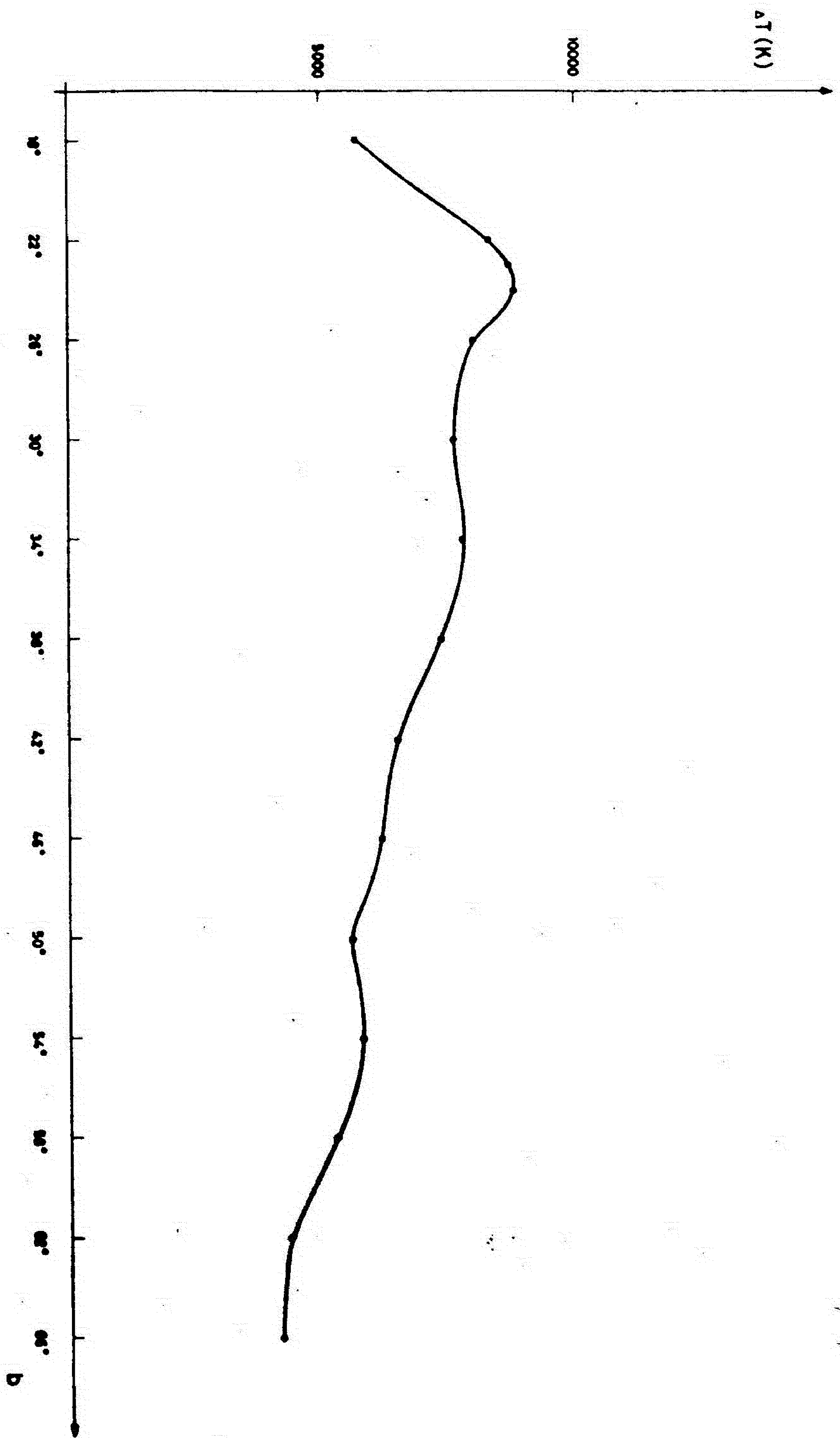
Približna predstava o raspodeli sjaja duž Severnog Polarnog Luka na 38 MHz se vidi sa slike 50, gde je predstavljen obračunati sjaj duž glavnog grebena. Obračun je vršen tako što je od posmatrane antenske temperature oduzeta vrednost procenjenog pozadinskog sjaja za tu latitudu. Autor je za tu svrhu uzimao temperature u unutrašnjosti Luka. Maksimum se za ovaj pregled neba u oblasti luka dobija oko $b = 24^{\circ}$. Pad je oštiji ka nižim latitudama no ka višim.

Sličan dijagram, koji je Bingam (Bingham 1966) nacrtao za 400 MHz (Seeger et al. 1965), 240 MHz (Haslam et al. 1964, Large et al. 1966) i 178 MHz (Turtle and Baldwin 1962), daje maksimume respektivno na $b = 25^{\circ}$, $b = 20^{\circ}$ i $b = 21^{\circ}$.

S obzirom na razliku u razdvojnim moćima slaganje je sasvim zadovoljavajuće.

Obračunati "pravi" sjaj Luka, s obzirom na teškoće u proceni sjaja pozadine, mora se uzimati sa znatnom ogradom.

Deo gde se nalaze lukovi, koji zajedno sa Severnim Polarnim Lukom čine Petlju I, na ovom pregledu neba nije posmatran.



Slika 50. Raspodjela antenske temperature Severnog Polarnog Jarka duž grebena.

4.4.2.1.1.1. Istraživanje moguće zavisnosti položaja grebena Severnog Polarnog Luka od učestanosti

Primećeno neslaganje položaja glavnog grebena Severnog Polarnog Luka na pregledu iznetom u ovoj tezi i na pregledu na 408 MHz konvoluiranog na istu razdvojnu moć, prirodno je povuklo pitanje o prirodi te pojave.

Kao što je to podrobno izloženo u 3.2.4.8., jonosferska refrakcija bi mogla biti odgovorna bar za deo povećane visine, odnosno deklinacije, na pregledu od 38 MHz.

Da bi se ispitala mogućnost astronomske prirode tog pomeraja, uporedjeni su položaji glavnog grebena na pregledima visoke razdvojne moći na 408 MHz (Haslam et al. 1974), 178 MHz (Caswell et al. 1967) i 38 MHz (Williams et al. 1966). Ti pregledi su izabrani jer pokrivaju veliki raspon učestanosti, imaju slične a visoke razdvojne moći i iskazani su svi u temperaturama sjaja. U tom smislu oni predstavljaju homogeni skup.

Položaji glavnog grebena dati su u tablici 2 označeni indeksom r (engleski ridge), dok su položaji gradijenta dati indeksom g.

T a b l i c a 2.

Položaj glavnog grebena i glavnog gradijenta
Severnog Polarnog Luka

| | 38 MHz | | 178 MHz | | 408 MHz | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| HPBW | 45' x 54' | | 23' x 22' | | 37' | |
| α | δ_r° | δ_g° | δ_r° | δ_g° | δ_r° | δ_g° |
| 13 ^h 00 ^m | | 15,5 | 14,0 | 14,5 | 13,0 | 15,5 |
| 13 20 | | 19,4 | 16,5 | 19,2 | 16,6 | 19,3 |
| 13 40 | 19,2 | 21,5 | 18,5 | 21,3 | 18,5 | 21,5 |
| 14 00 | 18,0 | 23,3 | 18,0 | 23,2 | 17,7 | 23,2 |
| 14 20 | 18,5 | 20,8 | 18,0 | 20,3 | 18,0 | 21,0 |
| 14 40 | 19,0 | 25,3 | 18,5 | | 18,4 | 25,3 |
| 15 00 | 20,6 | 25,1 | 19,2 | | 18,7 | 25,1 |
| 15 20 | 20,8 | 25,1 | 18,4 | | 18,9 | 25,0 |
| 15 40 | 19,6 | 25,0 | 18,8 | | 18,7 | 25,0 |
| 16 00 | 19,8 | 19,8 | 18,1 | | 18,8 | 19,8 |

Iz tablice 2. se vidi da je u svakoj tački deklinacija glavnog grebena δ_r veća na 38 MHz no na 178 MHz i 408 MHz. Srednja vrednost razlike $\overline{\Delta\delta_r} (38, 408) = 1,0 \pm 0,2$, dok je $\overline{\Delta\delta_r} (178, 408) = 0,1 \pm 0,2$.

Veličina greške pokazuje da bi razlika između položaja na 38 MHz i na druge dve učestanosti mogla biti značajna, a razlika između položaja na 178 MHz i 408 MHz beznačajna.

Treba, međjutim, izneti da je greben veoma blizu ivice karte na 38 MHz, tako da je moguće da položaj grebena nije dobro procenjen zbog nedovoljnog polja. U prilog takvoj

mogućnosti govori to da gradijent koji je izrazitiji oblik, na sve tri učestanosti ima praktično isti položaj. Doduše, taj argument nije jak jer se u principu gradijent i greben mogu razlikovati po ponašanju.

Refrakcija bi i greben i gradijent isto pomerila tako da se nadjena razlika u tablici 2. ne može pripisati refrakciji.

Ne može po sredi biti ni uticaj zračenja diska, jer položaj donjeg dela grebena koji je meren na 1420 MHz i od koga je odbijeno zračenje diska (Sofue and Reich 1979) poklapa se sa onim na 408 MHz. Ovo poklapanje posmatranih delova Luka sa svoje strane takodje govori o odsustvu zavisnosti položaja grebena od učestanosti.

Poredjenje sa pregledom na 820 MHz (Berkhuijsen 1971) razdvojne moći od $1^{\circ},2$ takodje nije ukazalo na promenu položaja.

Deo grebena koji je na 10 MHz posmatrao Kasvel (Caswell 1976), noću kada je refrakcija mala, leži oko 2° iznad položaja odgovarajućeg dela grebena na 408 MHz. Konvoluirani na istu razdvojnu moć od $7^{\circ}1/4$ x $8^{\circ}1/4$ oba pregleda se izvrsno poklapaju. Otuda se mora izvući zaključak da je neslaganje na 10 MHz i 408 MHz uzrokovano velikom razlikom u razdvojnoj moći ($2^{\circ} : 37'$), koja u oblasti izrazitih gradijenata mnogo utiče. Pomeranje je upravo onakvog smera kakvo bi se očekivalo pri posmatranju širokim snopom u oblasti gde je jedan deo, južno od grebena, srazmerno blagog gradijenta, dok je drugi deo severno od grebena, veoma strm. Posmatranja širokim snopom će stoga pokazati da je greben "povučen" na stranu blažeg gradijenta.

Ova analiza posmatranja na 10 MHz istovremeno

otklanja i mogućnost da je položaj grebena na pregledu visoke razdvojne moći na 38 MHz uzrokovan apsorpcijom od strane H II. Odsustvo apsorpcije na 10 MHz povlači za sobom zaključak da je utoliko pre nema na 38 MHz.

Sve u svemu, ovo istraživanje pokazuje da se Severni Polarni Luk zapaža na svim ispitivanim učestanostima na istom mestu. Razlike između položaja grebena na 38 MHz i drugim učestanostima, verovatno nisu posledica astronomskih pojava.

4.4.2.1.2. Luk Kita

Luk Kita je naziv koji se obično koristi za skup tri luka koji leže u jednom nizu. To su luk na $l = 45^\circ$, $b < 0^\circ$ (Aqr), $45^\circ < l < 160^\circ$, $b < 0^\circ$ (Cet), $l = 155^\circ$, $b < 0^\circ$ (Ari). Po najdužem od tih lukova, ceo kompleks se zove Luk Kita.

Na 38 MHz ceo Luk Kita se veoma jasno vidi duž skoro 135° . Položaj desnog dela Luka (Aqr) je takav da zbog blizine Mlečnog Puta možemo očekivati da merenja antenom šireg snopa neće pokazati greben luka na njegovom stvarnom mestu. Sem toga, taj deo Luka leži u oblasti koja je veoma opterećena jonosferskom apsorpcijom, pa su stoga posmatrački podaci manje pouzdani. Na karti dela neba iste razdvojne moći na 408 MHz (Haslam and Salter 1978) deo Luka Kita blizu galaktičkog središta nije izvijen toliko kao na 38 MHz. Pošto postoji mogućnost da spektralni indeksi raznih delova Luka Kita nisu isti, ne može se sigurno tvrditi da razlika u izgledu jednog dela Luka Kita potiče od jonosferske apsorpcije. Činjenica je, međjutim, da u tom delu linije

konstantnih procenata jonosferske apsorpcije (slika 25) idu skoro uzduž Luka što je uslov za znatnu deformaciju. U Ostalim delovima (Cet, Ari) linije idu manje više popreko, a i sam iznos apsorpcije je mnogo manji ($< 10\%$), pa čak i zanemarljiv. U tim delovima (Cet, Ari) jonosferska apsorpcija ne može mnogo uticati na oblik grebena. Primena procenjene korekcije na desni deo Luka ne ispravlja ga tako da on legne duž malog kruga. Ta pojava može imati više uzroka, uključujući i mogućnost nedovoljno dobre procene jonosferske apsorpcije. Oblik desnog dela Luka Kita na 38 MHz je u boljem skladu sa oblinom na karti neba na 404 MHz, nego na konvoluiranoj karti na 408 MHz.

Latitudni profil Luka Kita u centralnom kvadrantu pokazuje da u tom delu postoji znatan gradijent pozadinskog zračenja.

Kao i na višim učestanostima, luk u Kitu je odvojen "prekidom" od luka u Ovnu i luka u Vodoliji. Suženje dela luka u Ovnu na oko $l = 155^{\circ}$, $b = -30^{\circ}$ odgovara onome koji se približno u toj oblasti posmatra kao izostanak jedne konture na drugim učestanostima (e.g. Large et al. 1962, Haslam et al. 1982, Berkhuijsen 1971).

4.4.2.1.3. Lukovi u Per i Lac

Pošto je u ovom pregledu neba oblast oko severnog ekvatorskog pola samo delimično posmatrana, najveći deo severnog dela Petlje III nije bio dostupan ispitivanju preko materijala na 38 MHz. Medjutim, oblast južno od galaktičke ravni, koja bi mogla pružiti podatke o nastavcima

Petlje III, bila je raspoloživa u potpunosti. Zbog toga je odlučeno da se ispita da li se i na 38 MHz može naći dokaza da se Petlja III nastavlja ispod galaktičke ravni. Mogući nastavak blizu $l = 150^\circ$ je našao Solter (Salter 1970) na svom pregledu neba na 408 MHz.

Već prvi pogled na kartu neba na 38 MHz (22 i 23) pokazuje da i na toj učestanosti, u sazveždju Perseja i Andromeda, blizu $l = 150^\circ$, postoji luk koji se poklapa i po pravcu i po orijentaciji sa onim koji je uočio Solter. U realnost tog luka nema sumnje, jer su posmatranja kvalitetna, jonosferska apsorpcija odsutna, a i poredjenje sa pregledom veće razdvojne moći Vilijamsa i saradnika (Williams et al. 1966) na 38 MHz, kao i mnogih drugih, kao što je pregled Kasvela (Caswell 1976) na 10 MHz, pokazuju sličan luk na tom mestu.

Blizu simetričnog mesta gde bi se mogao ispod galaktičke ravni videti drugi nastavak Petlje III, na ovom pregledu na 38 MHz se uočava jedan manji luk u sazveždju Lacerta ($\alpha = 22^h 40^m$, $\delta = 40^\circ$). Na pregledu iste razdvojne moći na 408 MHz (Haslam 1978) ovaj luk ne postoji, dok se na 178 MHz (Turtle and Baldwin 1962) nazire jedan slab luk na oko $22^h 20^m$, $\delta = 40^\circ$. Približno na tom mestu se na 820 MHz (Berkhuijsen 1971) nalazi luk, ali se on ne poklapa po orijentaciji sa onim na 38 MHz. Na pregledu neba na 400 MHz (Seeger et al. 1964) vidi se slab luk na $\alpha = 22^h$ i $\delta = 42^\circ$.

U sazveždju Guštera postoji značajno poklapanje pravca E-vektora polarizacije sa karte Metjusona i Forda (Mathewson and Ford 1970) sa radio-lukom, što nije slučaj u Perseju i Andromedi, gde su vektori postavljeni skoro upravno na pravac radio-luka.

Sve ove činjenice bi se mogle protumačiti i kao indikacija nerealnosti radio-luka u Gušteru. Interferencija u trajanju od pola časa za vreme posmatranja oko deklinacije 40° bi trebalo, međutim, da dâ znatno širu petlju, jer su posmatrani uvek parovi deklinacija.

Neposredno poredjenje oblasti u Gušteru na nižim učestanostima nije moguće, jer su zbog CygA i Cas A uglavnom sva posmatranja složenim teleskopima bila nemoguća. Na višim učestanostima, gde se uticaj jakih izvora lakše može zaobići upotrebom velikih reflektora, poredjenje ne može biti presudno, jer strm spektralni indeks može dovesti do velike razlike, pogotovu u slučaju slabog luka, kao što je taj u Gušteru.

Kao zaključak možemo reći da luk u Gušteru može da se potvrdi ili dokaže u suštini tek novim posmatranjima na niskim učestanostima.

4.4.2.1.4. Lukovi u Peg, Psc i Tau

Lukovi u Pegazu ($l = 80^{\circ}$, $b < 0^{\circ}$) i Biku ($l = 185^{\circ}$, $b < 0^{\circ}$) su na karti neba na 38 MHz datoj u ovoj tezi veoma izraziti objekti. Njihov položaj i oblik su privukli pažnju autora na svojevrsan slab luk u Ribama ($l = 140^{\circ}$, $b = -46^{\circ}$) koji se nalazi blizu linije koja bi ih povezivala. S obzirom na mogućnost da sva tri čine jednu celinu odlučeno je da sva tri budu opisana ovde zajedno. Deo njihove analize u vezi sa posmatranjima u drugim područjima dat je u poglavlju 4.4.2.2.6., koji se odnosi na njihovu međusobnu vezu.

Luk u Pegazu spada među najsjajnije lukove na nebu. On je po sjaju i upadljivosti u istom rangu kao i luk

u Vodoliji i nesumnjivo predstavlja realan objekat.

Prema posmatranjima na 38 MHz, luk u Pegazu ima dva ogranka; onaj na $l \approx 80^\circ$ se poklapa sa lukom na 820 MHz (Berkhuijsen 1971) i 408 MHz (Haslam et al. 1980), naprimer, dok onaj na $l \approx 92^\circ$, $b = 46^\circ$ na višim učestanostima nije uočljiv. Suženje, odnosno, manjak konture na $b = 22^\circ$ u ovome luku, verovatno treba povezati sa "ostrvima" slabijeg slaja na $b \approx 20^\circ$ na karti Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1971). Uopšte uzev, taj luk je suviše kratak da bi se onako podrobno poredjenje kao u slučaju Severnog Polarnog Luka moglo sprovesti.

Luk u Ribama, vidljiv na $b = 46^\circ, 148^\circ > l > 124^\circ$ na 38 MHz, nije tako jasno vidljiv na visokim učestanostima.

Na 408 MHz postoji "ostrvo" blago uvećane emisije, sa središtem na oko $b = -50^\circ$, $l = 110^\circ$, kako se to vidi iz rada Haslama i saradnika (Haslam et al. 1974). Na karti tog dela neba na 240 MHz (Large et al. 1962) takodje se vidi pojačanje emisije između dve hladne oblasti. Središte tog pojačanja je na oko $b = 50^\circ$, $l = 115^\circ$. Slaba "prečka" postoji u tom delu i na 178 MHz (Turtle and Baldwin 1962).

Iako je to možda posledica oblika spektra, ne može se isključiti ni mogućnost da je po sredi artefact. Možda je taj "luk u Ribama" čak u nekoj vezi sa delom Petlje II u Ovnu ($l \approx 152^\circ$, $b \approx 42^\circ$), jer je sličnost oblika upadljiva. Za sva posmatranja tog dela neba mora se, međjutim, naglasiti da su srazmerno manje tačna, jer se radi o oblasti slabe emisije, koja se mora posmatrati iz većine opservatorija nisko nad horizontom.

Luk u Biku je nesumnjivo realan objekat, jer postoji na svim pregledima tog dela neba, izuzev onog na

404 MHz (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962). Ovo se pak veoma lako može objasniti kada se pregledaju podaci na osnovu kojih je karta na 404 MHz crtana. Luk u Biku zapravo upravo upada u interval između dva posmatranja, jer su u toj oblasti posmatranja bila veoma razmaknuta. To su utvrdili i Haslam sa saradnicima (Haslam et al. 1970) koji su i objavili korigovanu kartu te razdvojne moći na 408 MHz, na kojoj Luk u Biku postoji.

Luk u Pegazu i Luk u Biku sigurno nisu posledica nizanja bliskih radio-izvora. Katalog radio-izvora Vilijsa i dr. (Williams et al. 1966) pokazuje da u oblasti ovih lukova nema izvora jačih od 150 Jy na 38 MHz.

4.4.2.1.5. Lukovi u Cnc i Leo

Luk koji polazi od galaktičke ravni na oko $l = 195^\circ$, $b = 10^\circ$, idući ukoso, proteže se, iako slab, skoro do galaktičkog severnog pola. Njegov deo u Raku liči na klasičan radio-luk, dok deo u Lavu predstavlja "prečku" između dve poznate hladne oblasti na nebu. Na tu prečku sa visokih galaktičkih širina kao da se nastavlja jedan greben suprotne orijentacije. U ekvatorijalnim koordinadama gledano, svi ti lukovi se vide kao dva suprotna grebena koji leže duž $\delta = 20^\circ$.

Iako su zbog niskih temperatura merenja u tom delu neba podložnija greškama, navedeni objekti su sigurno realni, jer se mogu pratiti skoro na svakom pregledu neba. Dok na 38 MHz šum remeti gladak tok lukova, na 408 MHz konvolucija podataka visoke razdvojne moći daje veoma prav tok ovih lukova (Haslam et al. 1970).

4.4.2.2. Oblik petlji

4.4.2.2.1. Uvod

Poznato je skoro već dve decenije da izvesni lukovi radio-zračenja na visokim galaktičkim latitudama imaju takav oblik i položaj da se mogu udružiti u nekoliko malih krugova na nebeskoj sferi. Takvih malih krugova, nazvanih petljama, do 1970. bilo je poznato četiri. Otkrivenne su i izučavane ovim redom: Petlja I (Large et al. 1962, Haslam et al. 1964, Large et al. 1966, Salter 1970), Petlja II (Large et al. 1962, Quigley and Haslam 1965, Salter 1970), Petlja III (Quigley and Haslam 1965, Salter 1970) i Petlja IV (Large et al. 1966, Salter 1970).

Koordinate središta i prečnika petlji određivali su svi navedeni autori, ali su najtačniji i najviše korišćeni Solterovi (Salter 1970, Berkhuijsen et al. 1971).

Pošto se tokom poslednje decenije skupio veliki posmatrački materijal na raznim učestanostima, postoji mogućnost da se parametri već poznatih krugova poboljšaju i da se otkriju nove petlje i njihovi krugovi. Ovo postaje utoliko aktuelnije što sada sve više posmatračkih podataka ukazuje da u Galaksiji ima veoma mnogo sfernih ljuski (e.g. Brand and Zealey 1975, Heiles 1979, Hu 1981) i da postoje procesi koji takve ljuske stvaraju (e.g. Weaver 1979).

Nepriistrasnosti radi potrebno je navesti da postoje i drukčije ideje o poreklu lukova i njihovoj povezanosti, odnosno nepovezanosti. Ekstremno negativan stav prema ideji da su lukovi delovi sfernih ljuski ima Japanac Sofju sa

saradnicima (Sofue et al. 1974) koji smatra da je većina lukova posledica prostiranja spiralnog talasa gustine.

Medjutim, većina autora danas povezivanje u krugove prihvata kao realnost, a ima ih koji tragaju za novim krugovima. Tako je autor ove teze još 1970. godine predložio povezivanje u dva nova mala kruga (Milogradov-Turin 1970), na osnovu svog pregleda neba na 38 MHz. Eliot i Miburn (Elliott and Meaburn 1973) su predložili druge petlje na osnovu pregleda neba na 150 MHz (Landecker and Wielebinski 1970).

Autor ove teze je takodje ispitivao i produženja Petlje III na južnoj nebeskoj polulopti (Milogradov-Turin 1972) i odredio parametre Petlje II iz novijih podataka.

Ponovna analiza malog kruga Petlje I, koju je obavio autor ove teze, po prvi put je izneta ovde.

U ovoj doktorskoj tezi nanovo su proanalizirani u svetlosti novih podataka raniji rezultati autora ove teze, i celine radi izneti zajedno sa novim rezultatima.

4.4.2.2.2. Postupak obrade

Za izračunavanje malih krugova korišćen je program koga je napisao Solter (Salter 1970), a koga je autor ove teze, pošto ga je preveo u Fortran, koristio uz dozvolu autora. Ideja postupka je u tome što se izračunava položaj središta kruga i poluprečnika za koje će zbir kvadrata razlika radijusa i udaljenosti posmatranih tačaka od izračunatog središta biti najmanji. Položaj središta se traži unutar unapred zadatog kvadrata koji obuhvata približno

procenjeno središte. Posmatrane tačke su uzimane svakih 4° približno duž središnjeg grebena Luka. Pri takvom izboru svaka tačka može da se smatra nezavisnim posmatračkim podatkom. Greške su izračunate prema χ^2 testu predpostavljajući da one slede normalnu raspodelu. Za nivo pouzdanosti usvojena je vrednost 95%.

Za najbolje podešenu vrednost središta i poluprečnika računati su položaji tačaka najboljeg malog kruga, ravnomerno rasporedjenih po kružnici.

4.4.2.2.3. Petlja I

4.4.2.2.3.1. Petlja I na 38 MHz

Petljom I se najčešće naziva mali krug na nebeskoj sferi čiji je glavni deo luk radio-zračenja poznat kao Severna Polarna Petlja, Severna Galaktička Petlja ili Velika Petlja, a najčešće kao Severni Polarni Luk.

Ovaj pregled neba na 38 MHz (Milogradov-Turin and Smith 1973) nije pogodan za izučavanje putanje Petlje I, jer je razdvojna moć prilično mala, a posmatranja su skopčana sa uticajem jonosferske refrakcije koju je teško tačno obračunati.

Od interesa je jedino položaj Petlji, izračunatih iz drugih pregleda neba, iskoristiti za poredjenje sa pregledom na 38 MHz i videti da li informacija na niskim učestanostima daje nešto novo.

Ono što je za autora ove teze bilo najinteresantnije, to je da vidi da li bi ovaj pregled neba na 38 MHz mogao da pomogne da se utvrdi da li greben na $l = 250^\circ$ ili greben na $l = 270^\circ$ (oba $b > 0^\circ$) predstavlja nastavak Severnog Polarnog Luka. Ispitivanje tog problema, koje je autor ove teze sproveo iz podataka na drugim učestanostima (Milogradov-Turin 1981), dato je u prilogu I. Na 38 MHz, čak ni na ekvatorijalnoj karti, koja obuhvata veću oblast od galaktičke, ne mogu se videti dva odvojena luka u toj oblasti. Na $\delta \approx -23^\circ$, za $9^h < \alpha < 10^h,7$, antenska temperatura je konstantna. Poredjenje sa kartom neba na 408 MHz konvoluiranom na istu razdvojnu moć (Salter 1981).

pokazuje da je ta horizontalna kontura na $\delta = -23^\circ$ baš jedna stranica velikog luka koji u sebi sadrži oba grebena ($l = 250^\circ$ i $l = 270^\circ$), slivena, zbog medjusobne blizine, blizine galaktičke ravni i velikog snopa antene, u jedan.

4.4.2.2.4. Petlja II

Petljom II se naziva mali krug koji je odredjen sa tri luka, od kojih je najduži onaj u sazvežđu Kita, a najizrazitiji je onaj na $l = 45^\circ$, $b < 0^\circ$ (Aqr) pa onaj na $l = 155^\circ$, $b < 0^\circ$ (Ari).

Kako se već videlo iz 4.4.2.1.2. deo tih lukova na 38 MHz leži u oblasti jače jonosferske apsorpcije, pa zato nije pogodan za neke preciznije geometrijska ispitivanja. Ipak, izračunavanja malog kruga su sprovedena i iz materijala na 38 MHz (Milogradov-Turin 1970), s tim što se tačke iz oblasti jake jonosferske apsorpcije - krajnje desno na slici 51. nisu koristile.

Parametri malog kruga koji je izračunat bez tačaka oko $\alpha = 21^h,5$ su

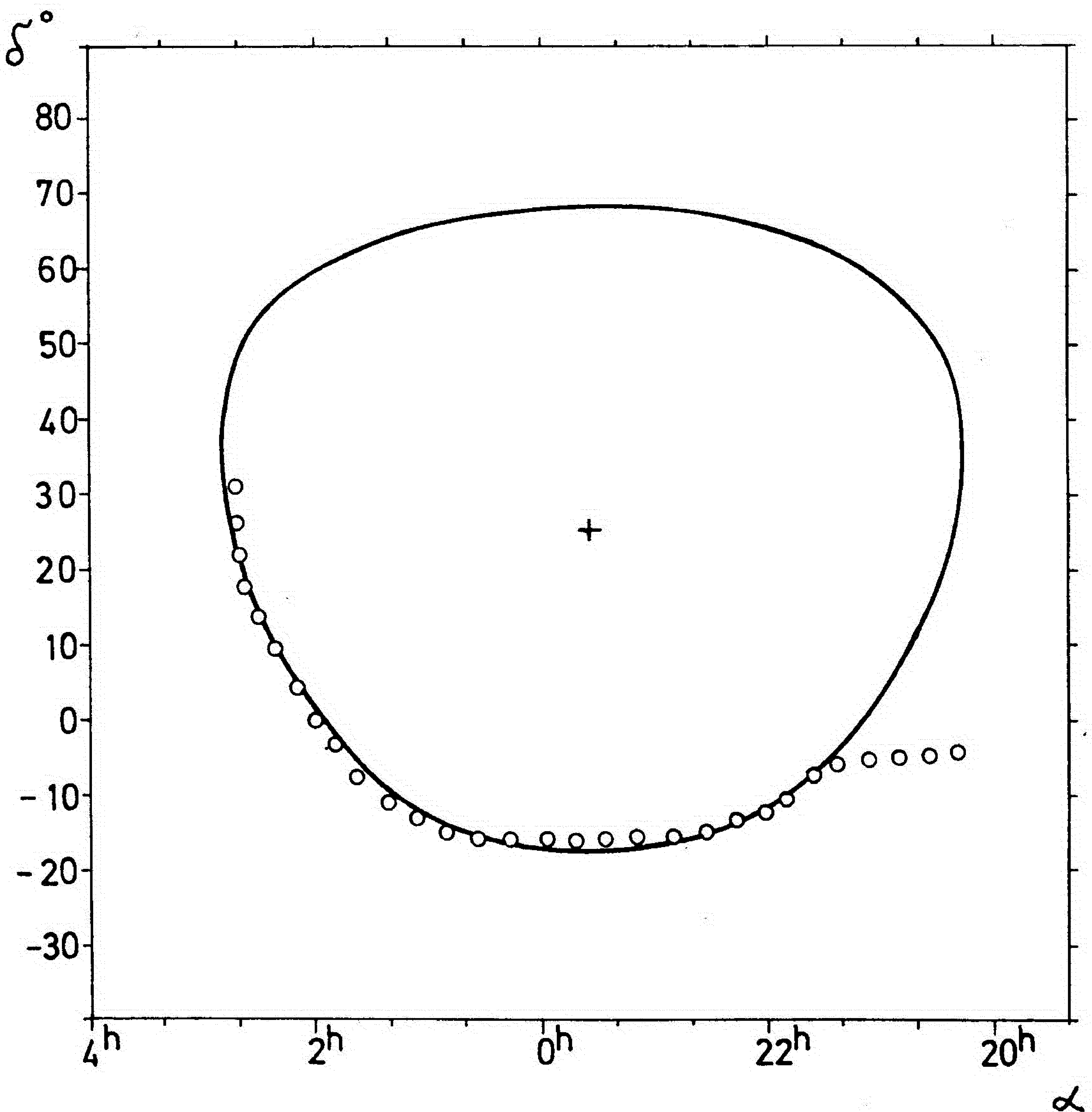
$$\left. \begin{array}{l} \text{koordinate} \\ \text{središta} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \alpha = 353^\circ,5 \pm 1^\circ,5 \quad (23^h \ 35^m \pm 5^m) \\ \delta = 25^\circ \pm 1^\circ,5 \end{array}$$

a prečnik

$$D = 86^\circ \pm 2^\circ$$

Ovi rezultati se slažu sa Solterovim (Salter 1970, Berkhuijsen et al. 1971).

O astrofizičkim aspektima ispitivanja Petlje II u svetlosti novijih ideja Uivera (Weaver 1979) biće reči dalje (4.4.2.2.5.).



Slika 51. Mali krug Luka Kita na 38 MHz.

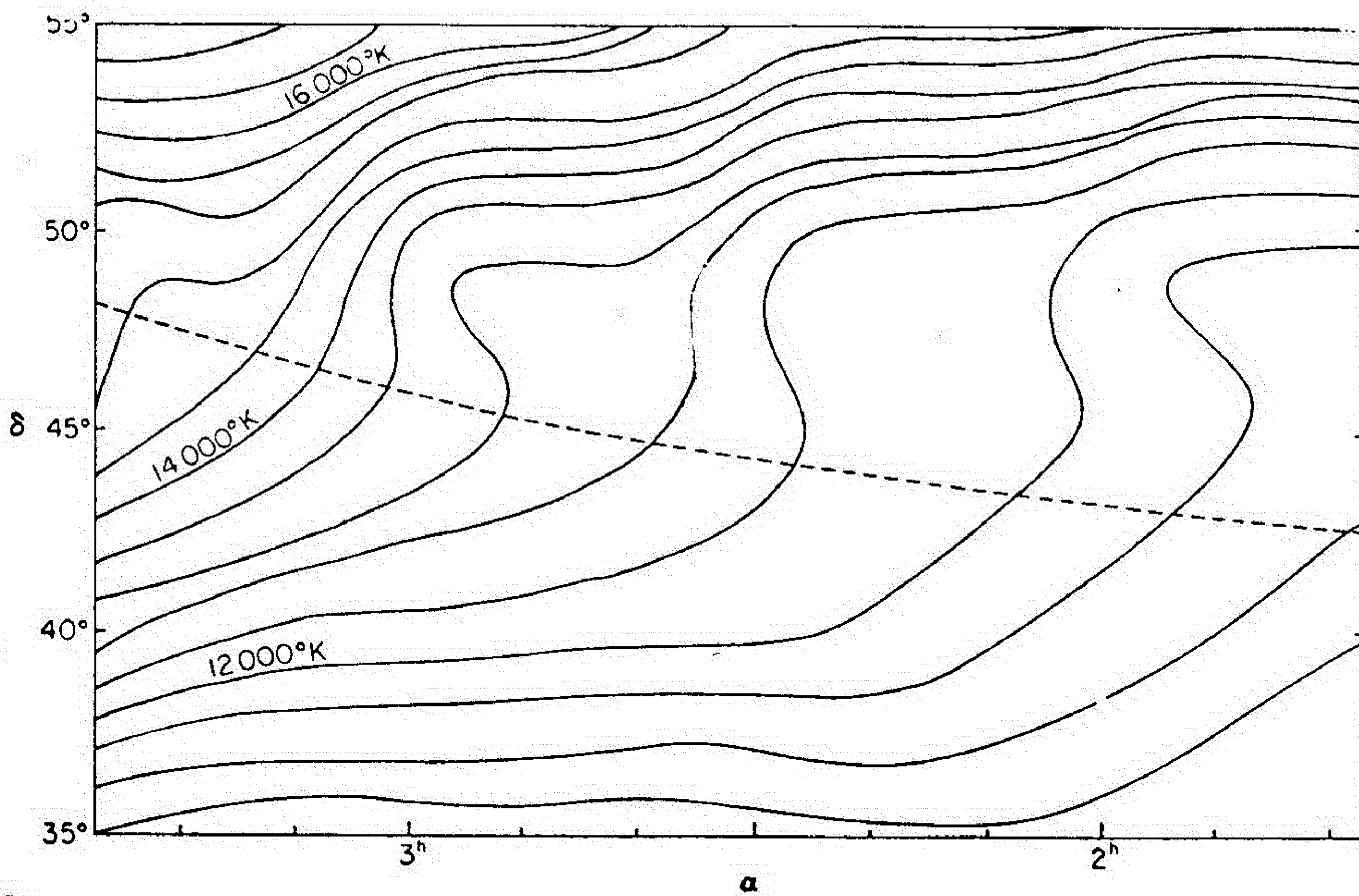
4.4.2.2.5. Petlja III

Pošto u ovom pregledu neba na 38 MHz oblast oko severnog ekvatorskog pola samo delom posmatrana, najveći deo severnog dela Petlje III nije bio dostupan ispitivanju preko materijala na 38 MHz. Medjutim, oblast južno od galaktičke ravni koja bi mogla pružiti podatke o nastavcima Petlje III bila je raspoloživa u potpunosti. Zbog toga je odlučeno da se ispita da li se i na 38 MHz može naći dokaza da se Petlja III nastavlja ispod galaktičke ravni. Mogući nastavak blizu $l = 150^\circ$ je našao Solter (Salter 1970) na svom pregledu neba na 408 MHz.

Već sama činjenica da se radio-luk sa karte na 38 MHz u sazveždju Perseja nalazi u oblasti gde je Solter uočio mogući nastavak Petlje III, podstiče na analizu tog slaganja. Rezultati ove analize su objavljeni (Milogradov-Turin 1972), a ovde se iznose radi potpunosti. Izračunat je mali krug koji najbolje odgovara severnim lukovima skupljenim u Petlji III.

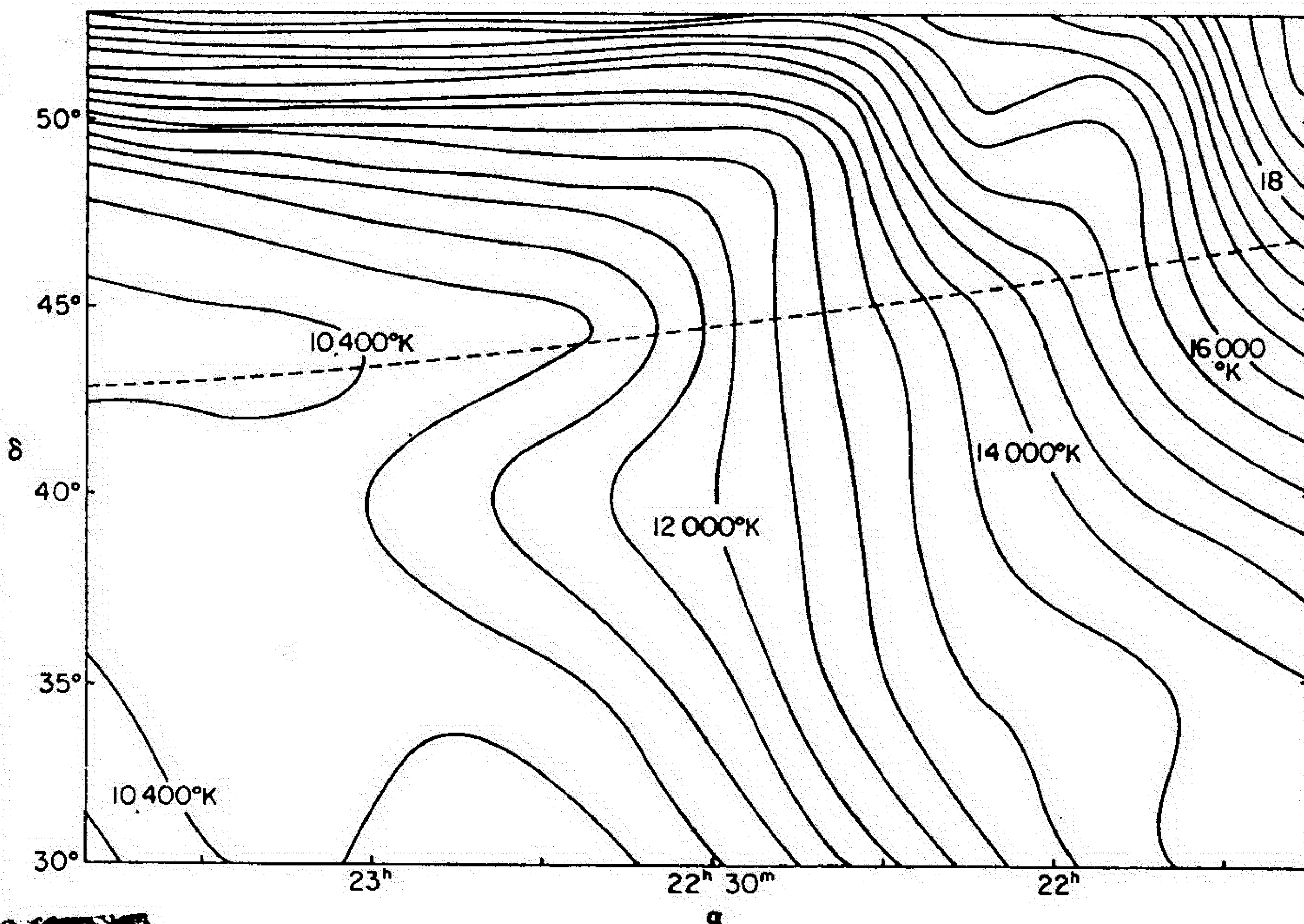
Uzeto je da je:

1. Na nižim longitudama glavna grana grebena f na karti Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971) do latitude $b = 35^\circ$.
2. Za $b = 35^\circ$ uzeto je da Petlja III leži sredinom luka, tj. između grebena f i e .
3. Oko longitude $l = 125^\circ$ podaci su uzeti iz pregleda Sigera sa saradnicima (Seeger et al. 1965).
4. Na višim longitudama uzet je greben luka iz pregleda Haslama sa saradnicima (Haslam et al. 1970) i članka Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971), taj luk se poklapa sa



Slika 52.

Slika 52. Mali krug Petlje III i njegov mogući nastavak južno od galaktičke ravni oko $l=150^\circ$, na 38 MHz.



Slika 53. Mali krug Petlje III i njegov mogući nastavak južno od galaktičke ravni oko $l=100^\circ$, na 38 MHz.

grebenom b sa crteža Berkhujsenove.

Tačke su očitavane svakih 3° približno, jer je taj razmak veći od razdvojne moći svakog od korišćenih pregleda, pa se stoga te tačke mogu smatrati nezavisnim.

Parametri najbolje podešenog kruga su bili:

$$\begin{array}{l} \text{Središte} \\ \text{Prečnik} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} l = 122^{\circ} \pm 1^{\circ},5 \\ b = 13^{\circ} \pm 2^{\circ} \\ D = 68^{\circ} \pm 2^{\circ},5 \end{array} \right.$$

Oni leže unutar granice grešaka parametara koje je dobio Solter iz starijih podataka (Salter 1970, Berkhujsen et al. 1971).

Izračunati mali krug prelazi na južne latitute oko $l = 150^{\circ}$ i ide skoro 15° duž emisionog luka, kako se vidi sa slike 52. Na slici 53. prikazan je drugi deo malog kruga oko $l = 100^{\circ}$, koji kako vidimo, prolazi nešto severnije od radio-luka. S obzirom, da su odstupanja reda veličine onih koji su već zapažani kod severnog dela Petlje III, autor ove teze je izneo hipotezu da bi pored radio-luka u Perseju i radio-luk u Gušteru mogao biti nastavak Petlje III (Milogradov-Turin 1972).

Najbolje podešeni krug koji uključuje oba severna luka i pomenute delove na severnoj polulopti ima parametre

$$\begin{array}{l} \text{Središte} \\ \text{Prečnik} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} l = 121^{\circ} \pm 1^{\circ},5 \\ b = 13^{\circ},5 \pm 1^{\circ},5 \\ D = 68^{\circ} \pm 2^{\circ},5 \end{array} \right.$$

Zanimljivo je da su uključivanjem južnih lukova parametri promenjeni za iznos manji od greške parametara izračunatih za podatke samo sa severne hemisfere.

Jonosferska apsorpcija na 38 MHz u oblasti Persejevog luka i luka u sazveždju Gušter bila je beznačajna.

Do danas hipoteza o nastavku Petlje III preko lukova u Gušteru nije ni pobijena ni potkrepljena, jer posmatranja odgovarajuće vrste nije bilo.

Hipoteza o zajedničkom poreklu Petlje II i III kao ostatku jedne supernove (Weaver 1979) nije u protivu- rečnosti ni sa jednim od rezultata iznetih u vezi sa tim petljama u ovoj tezi. Ako su te petlje delovi dvoloptastog omotača, koji po Uiveru (Weaver 1979) zadovoljava prethodno računate krugove (Berkhuijsen et al. 1971), onda on mora zadovoljavati i ovde računate krugove, jer se oni malo međusobno razlikuju. Središte asocijacije α Per (Alter et al. 1970), za koju Uiver smatra da je bila kolevka supernove, koja je stvorila Petlju II i III, leži praktično pored Persejevog radio-luka. Medjutim, moguće je da je supernova ležala na ivici te asocijacije, na mestu bližem osi simetrije kompleksa Petlja II - Petlja III, a prema tome i dalje od Persejevog radio-luka. Geometrijska razmatranja izneta ovde ne mogu da presude o ispravnosti Uiverove hipoteze, onako ukratko izložene kao što je on to za sada učinio. Ovi rezultati jedino nedvosmisleno govore protiv Rugorove hipoteze (Rougoor 1966) o helikoidalnoj prirodi radio-petlji.

Analiza izneta u sledećoj glavi pokazuje da nije isključeno da je Petlja III čak povezana sa Petljom V i Petljom VI. Bliskost središta (slika 54) pokazuje da takva hipoteza nije neosnovana. Možda se u toj oblasti dogodilo čak nekoliko eksplozija supernove. O mogućnosti da je

postojalo više uzastopnih eksplozija supernove u slučaju Petlje III pisala je još Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971), zasnivajući taj svoj stav na upadljivoj uredjenosti grebenova u oblasti Petlje III.

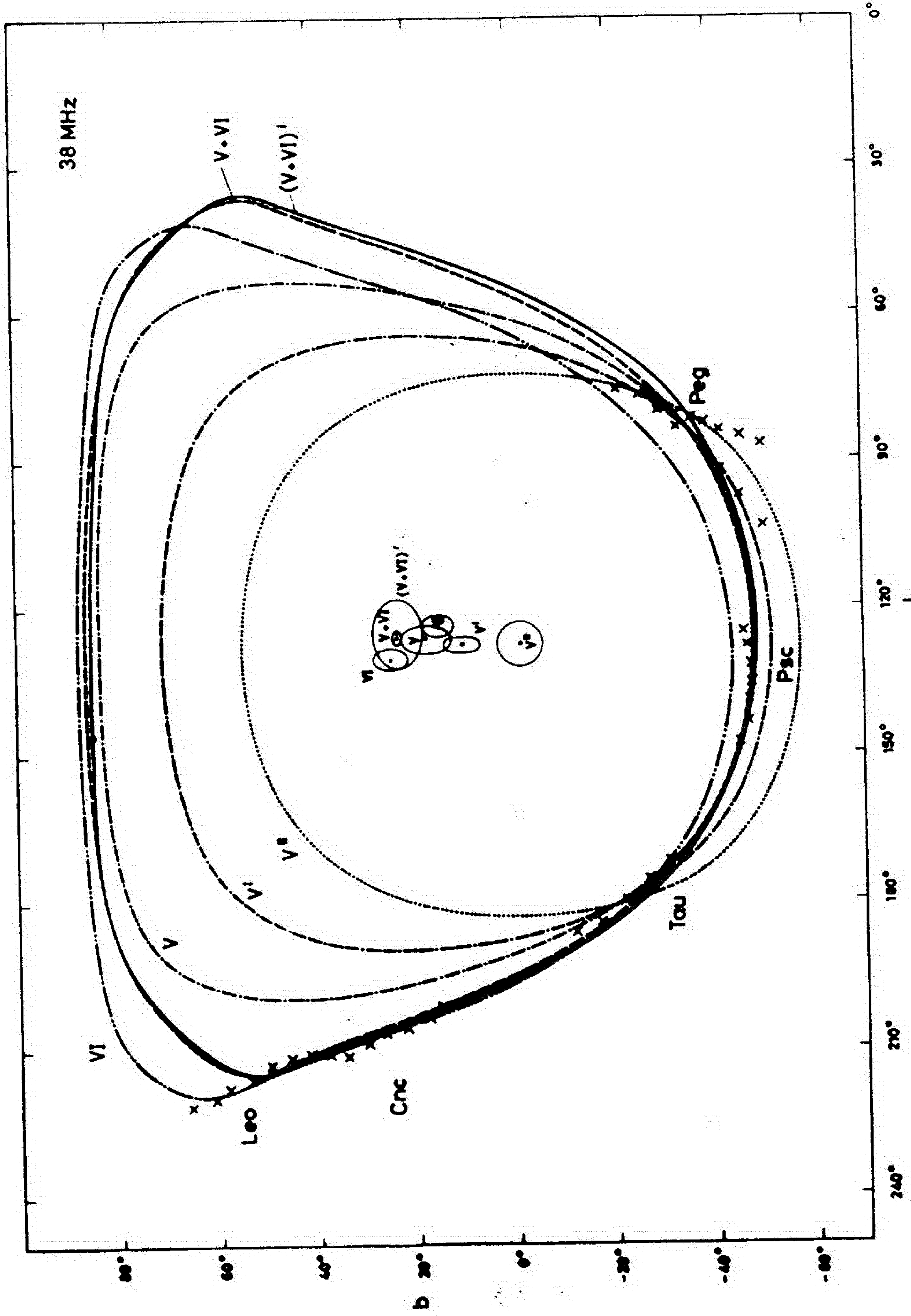
4.4.2.2.6. Moguće nove petlje

Položaj i oblik lukova na $l = 80^\circ$, $l = 185^\circ$ (oba $b < 0^\circ$) i $l = 208^\circ$ ($b > 0^\circ$) nametnuo je autoru ove teze ideju da su ti lukovi možda takodje delovi malih krugova (Milogradov-Turin 1970).

Na osnovu materijala na 38 MHz autor je povezao luk u Pegasu ($l = 80^\circ$) i luk u Biku ($l = 185^\circ$), i dobio da oni leže srazmerno dobro duž malog kruga za koji je predložen naziv Petlja V. Luk u Raku ($l = 206^\circ$, $14^\circ < b < 30^\circ$) u Lavu ($l \approx 212^\circ$, $34^\circ < b < 50^\circ$) su ležali duž kruga za koji je predložen naziv Petlja VI. Obe petlje su slabije izražene no ranije otkrivene petlje. Kod njih je odstupanje od krugova veće nego kod Petlje I i II, ali ne lošije no kod Petlje III.

Na slici 54. i tablici 3. dati su mali krugovi, odnosno, njihovi parametri, računati za razne slučajeve. Krstićima su označeni položaji tačaka na grebenima lukova koji su korišćeni za izračunavanje. Jonosferska apsorpcija je bila zanemarena. Latinskim oznakama sazveždja označeni su pojedini lukovi. Centri krugova su dati sa elipsama greški.

Petlja V je dobijena koristeći lukove u Pegazu, Ribama i Biku. Petlja VI je dobijena spajanjem lukova u Raku



Slika 54. Mali krugovi koji spajaju lukove
na $l \approx 80^\circ$, $l \approx 180^\circ$ i $l \approx 210^\circ$.

i Lavu. Petlja V' i V'' su izračunate ispuštajući luk u Ribama, s tim što je kod Petlje V' korišćen levi ogranak luka u Pegazu, a kod Petlje V'' korišćen je središnji, odnosno, desni deo.

Pokušalo se i da se svi lukovi spoje u jednu - Petlju (V + VI), što je dalo zanimljiv rezultat. Petlja (V + VI)' je izračunata ne koristeći luk u Ribama, a uzimajući desni ogranak Pegazovog luka. Analogni slučaj sa levim krakom Pegazovog luka nije računat, jer se videlo da bi to neznatno uticalo na rezultat.

Tablica 3

Parametri malih krugova V i VI

| Naziv kruga | l° | b° | R° |
|-------------|-----------------|----------------|----------------|
| Petlja V | $126,2 \pm 3,5$ | $17,2 \pm 5,1$ | $65,8 \pm 2,9$ |
| " V' | $127,4 \pm 1,5$ | $9,8 \pm 4,3$ | $61,1 \pm 0,1$ |
| " V'' | $127,8 \pm 4,8$ | $-1,2 \pm 4,6$ | $55,5 \pm 2,7$ |
| " VI | $130,4 \pm 3,5$ | $24,6 \pm 2,3$ | $67,9 \pm 1,3$ |
| " (V+VI) | $126,0 \pm 1,9$ | $23,6 \pm 1,4$ | $71,2 \pm 0,5$ |
| " (V+VI)' | $125,2 \pm 7,5$ | $23,2 \pm 6,6$ | $72,0 \pm 2,6$ |

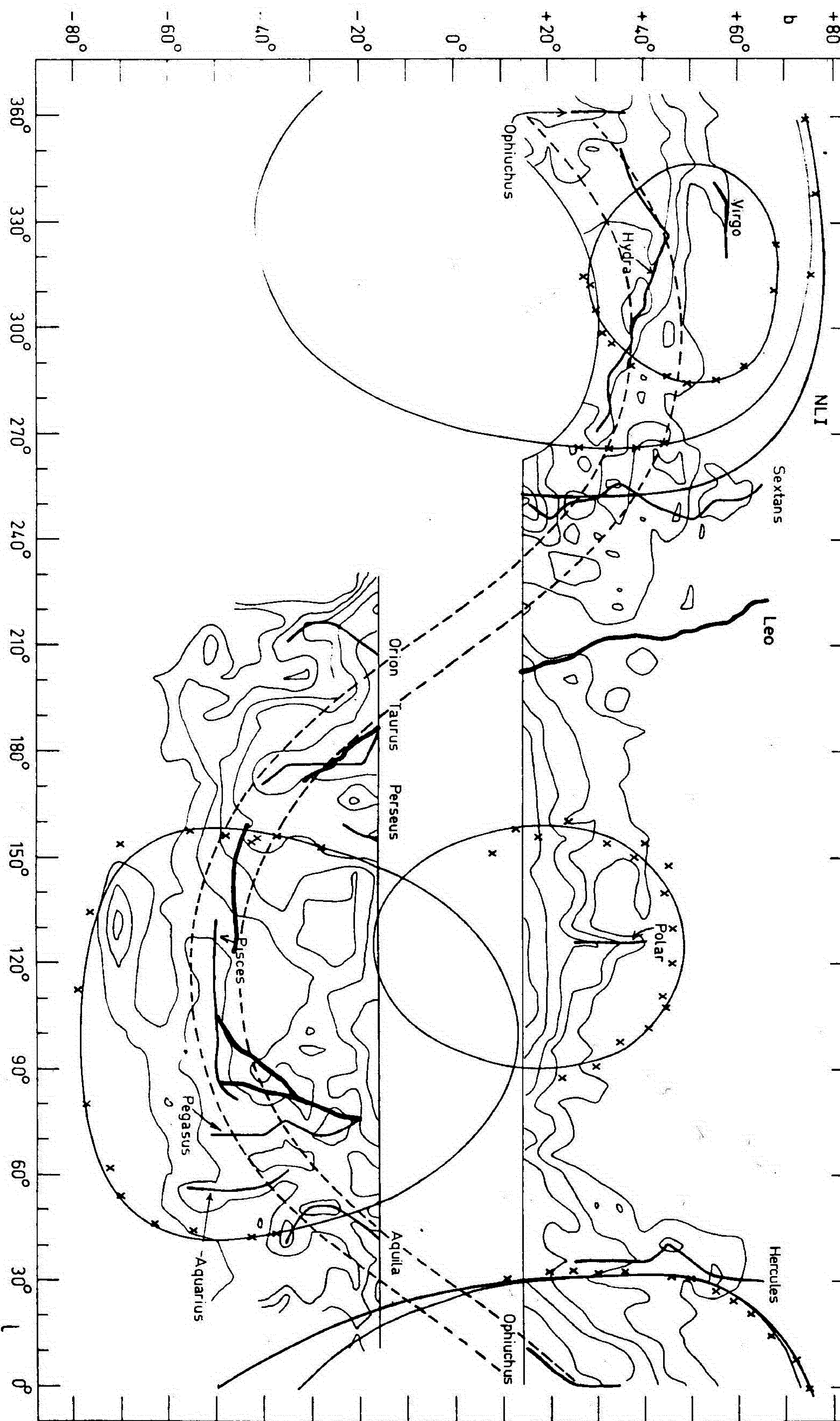
Kao što se vidi i iz tablice 3 i sa slike 54, sudeći po geometrijskim kriterijumima, sasvim je opravdano postaviti hipotezu da su pomenuti lukovi stvarno povezani. Odstupanja tačaka od kružnice nije veliko. Opravdano je, kao što se vidi, čak pretpostaviti, da postoje ne dve, već da postoji jedna petlja, koja je ovde označena sa (V + VI).

Nije isključeno ni da su ovi krugovi u nekoj vezi sa Petljom III, jer je upadljiva blizina središta malog kruga Petlje III (označenog na slici sa 3) i središta krugova računatih ovde.

Najviše odstupa od kružnice desni, odnosno, pravolinijski greben u Pegazu. Povezivanje tog luka i luka u Biku je najlošije od svih računatih slučajeva. Lukovi u Biku, Raku i Lavu se tako dobro uklapaju i pokrivaju toliki raspon da je od beznačajnog uticaja da li se sa njima povezuju levi ili desni greben Pegazovog luka. Još od manjeg uticaja je luk u Ribama, jer se on nalazi na putanji većine tih krugova, tako da njegovo izostavljanje utiče veoma malo, ukoliko se ne radi o sparivanju samo dva luka - luka u Biku i desnog kraka luka u Pegazu.

Idealno slaganje ne bi ni trebalo očekivati. Bilo da je reč o eksploziji supernove, bilo o nekom drugom načinu stvaranje sferne ljuske, zbog razlike u gustini međuzvezdane materije, sferna ljuska mora da se deformiše. Takvim argumentom se mogu opravdati sva posmatrana odstupanja, mada treba imati na umu da odstupanja mogu značiti i to da se ovi lukovi samo slučajno vide na nebu blizu krugova, i da možda u prostoru nisu uopšte povezani. Čisto geometrijski argumenti nisu dovoljni ni za dokazivanje ni za obaranje postojanja petlji.

Činjenica da se na višim učestanostima u sazveždju Riba ne vidi pojačanje zračenja koje bi odgovaralo petlji, kao što je to na 820 MHz uočio Spolstra (Spoelstra 1972), ne može biti ozbiljan argument protiv postojanja petlje. Kod sve četiri opšte priznate petlje se ne može pratiti ceo mali krug. U slučaju ovde pretpostavljenih petlji ima indikacija



Slika 55. Raspodela H I prema Fejšu i Veseliusu (Fejes and Wesselius 1975) sa superponovanim lukovima na 38 MHz označenim najdebljim linijama i malim krugovima Petlje I, II, III i IV prema (Salter 1970) i malim krugom Petlje I iz Priloga I.

da se izvesno pojačanje zračenja u tom delu vidi ukoliko se ide na nižim učestanostima (vidi 4.4.2.1.4.).

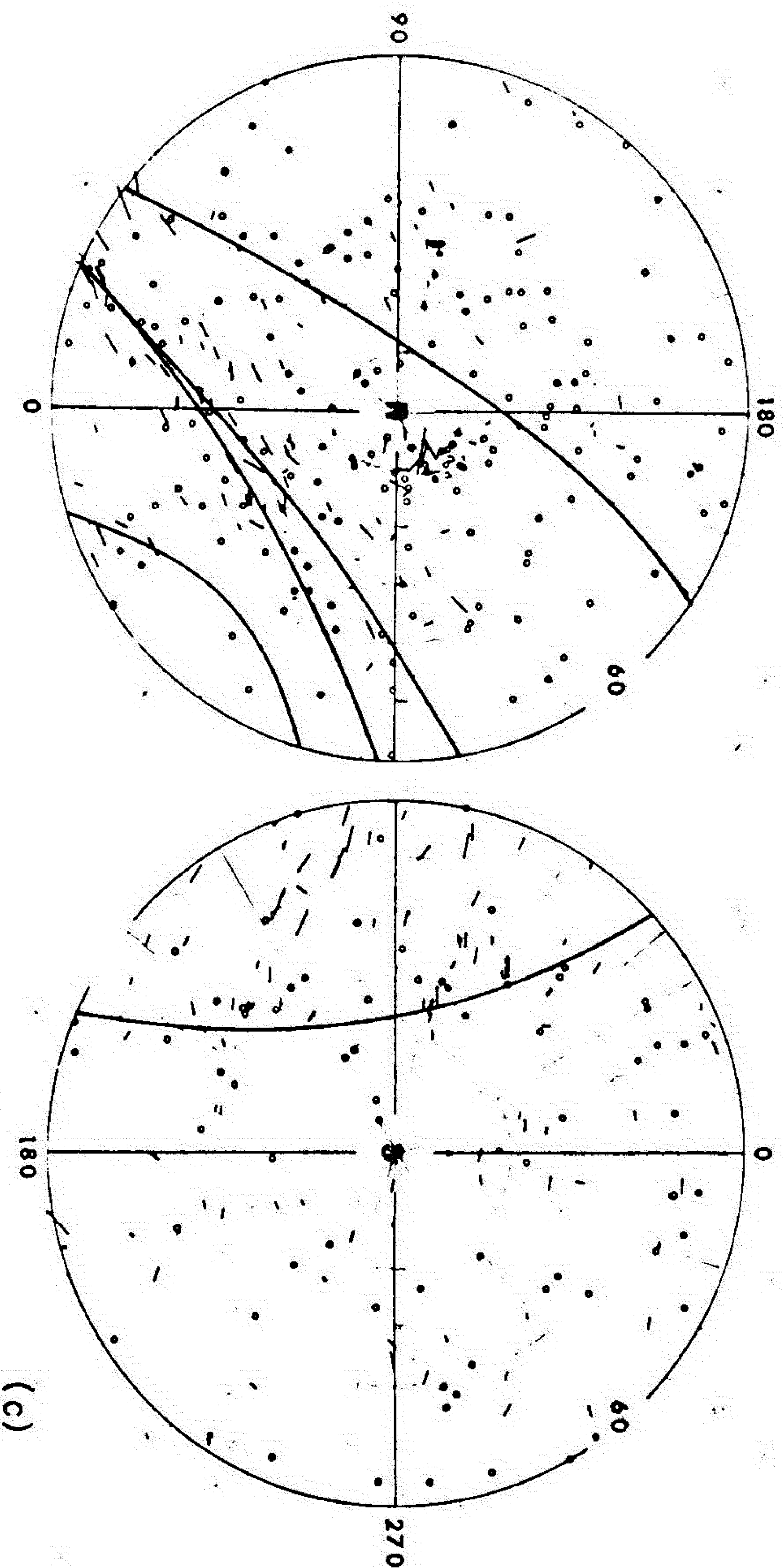
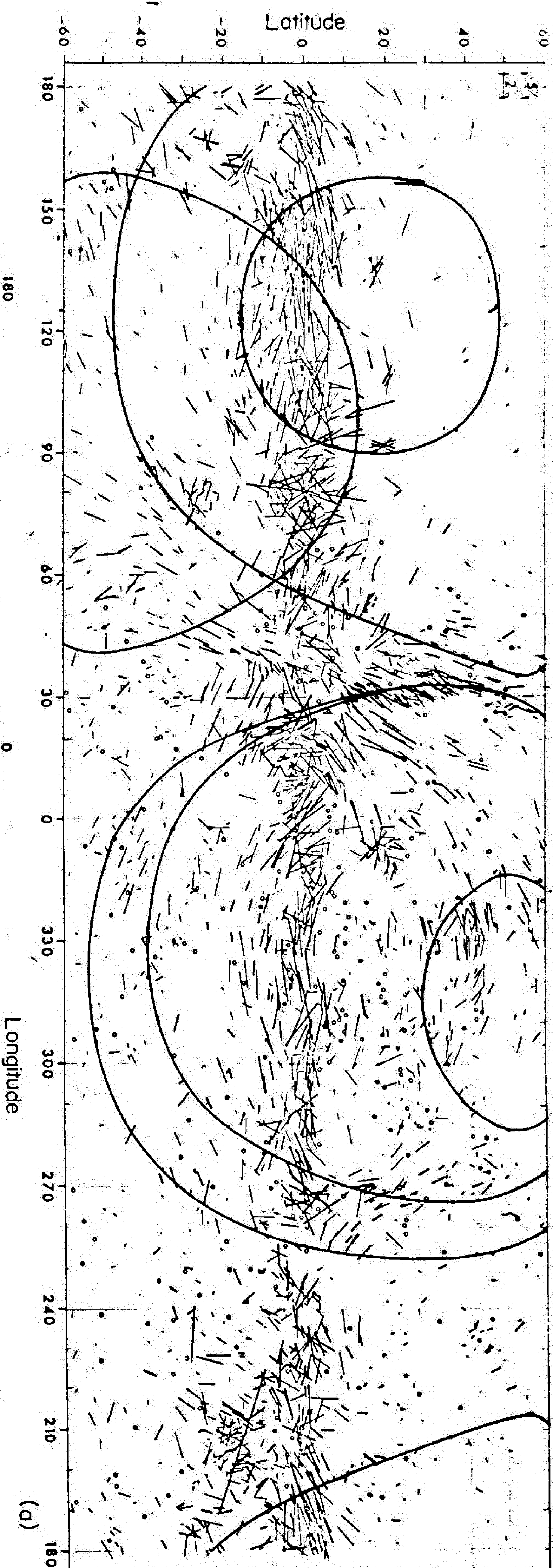
Nešto strmiji spektralni indeks tog dela bi mogao dati opisano ponašanje između 320 MHz i 38 MHz.

Neutralni vodonik se može zapaziti u povećanoj količini u vidu trake duž $b = -50^\circ$ za $l = 130^\circ > 1785^\circ$ na kartama Feješa i Veseliusa (Fejes and Wesselius 1973) i Hejlesa (Heiles 1975). Taj luk su Feješ i Veselius (1973) nazvali "Pisces greben". Skoro upravno na njega, duž $l = 70^\circ$, proteže se luk neutralnog vodonika koga su oni nazvali "Pegasus greben", a duž $l = 176^\circ$, luk koga su oni nazvali "Taurus greben". Sudeći po položaju na nebu moguće je da su radio-luk u Biku i slabiji radio-luk u Ribama u vezi sa neutralnim vodonikom u Taurus - Perseus kompleksu, a radio-luk u Pegazu sa Pegasus H I kompleksom. Sami Feješ i Veselius (Fejes and Wesselius 1973) takodje su smatrali da ovi lukovi su povezani, ali ne preko malih krugova, već u jedan "nagnuti disk".

Vežu između neutralnog vodonika i luka u Biku uočili su još 1970 (Berkhuijsen et al. 1971).

Pomak od desetine stepeni se može očekivati, jer je sličan znatan pomak još ranije zapažen u slučaju Petlje I (Berkhuijsen et al. 1969). Na slici 55. preko raspodele neutralnog vodonika Feješa i Veseliusa (1973) ucrtani su mali krugovi petlji koje je izračunao Solter (Salter 1970), mali krug Petlje I izračunat u ovoj tezi (Prilog I) i položaji radio-lukova u Pegazu, Ribama, Biku, Raku i Lavu.

Kinematičke osobine neutralnog vodonika su postale jasnije tek posle objavljivanja H I pregleda načinjenog na Hat Creek opservatoriji, najpreglednije izloženog i prodi-



Slika 56. Raspodela vektora optičke polarizacije svetlosti zvezda (Mathewson and Ford 1970) sa su -- perponovanim malim krugovima računatim u ovoj tezi i standardnim krugovima Petlje I, II i III.

(c)

(d)

skutovano u radu Hejlasa i Dženkinsa (Heiles and Jenkins 1976). Po njima Taurus/Perseus kompleks H I ima brzinu blisku +8 km/s. Taj diskontinuitet u brzini je naveo Hejlasa i Dženkinsa (Heiles and Jenkins 1976) na tvrdjenje da su Taurus i Pisces kompleks nepovezani, razmatrajući ih kao delove "nagnutog diska". Slična je situacija i sa Pegasus kompleksom, koji isto ima veliku pozitivnu brzinu. Iako ovaj argument ne govori u prilog veze medju ova tri H I luka, on ne mora biti presudan za radio-lukove. Radio-luk u Ribama i H I luk u Ribama su previše razmaknuti po longitudi da bi se smatrali sigurno povezanim. Sem toga, u Pegazu, a naročito u Biku ima toliko vodonika da je moguće da je komponenta koja pripada petlji maskirana.

Poredjenje sa kartom polarizacije radio-zračenja na 408 MHz (Mathewson and Milne 1965) ne daje ništa presudno, iako na $b = 60^\circ$ postoji znatna polarizacija.

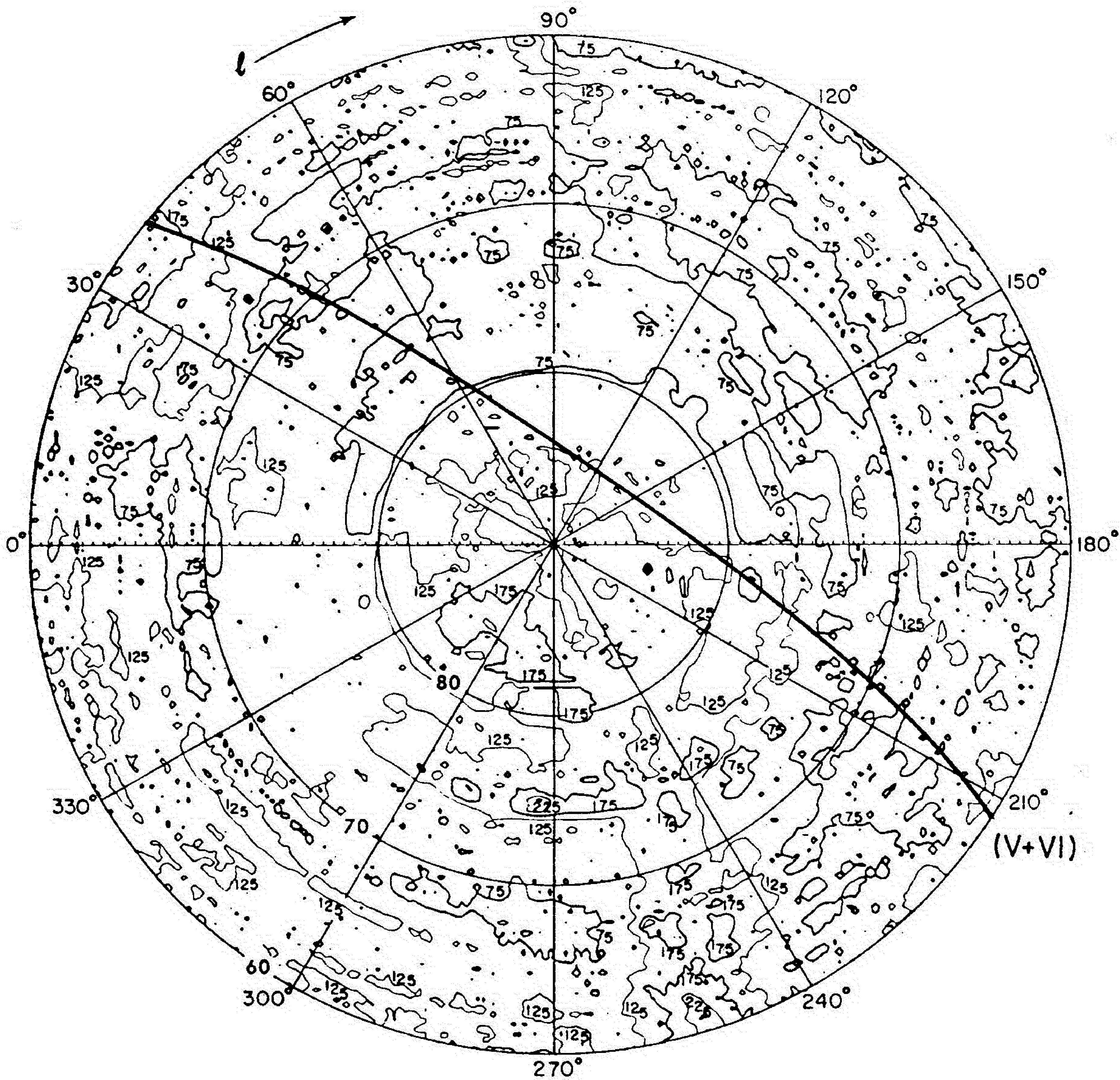
Poredjenje sa vektorima polarizacije (slika 56) ne doprinosi ništa što bi bilo presudno. Izvesno slaganje u pravcu i položaju se može zapaziti izmedju lukova u Pegazu i Ribama i E-vektora polarizacije zvezda na kartama Metjusona i Forda (Mathewson and Ford 1970) i Eksona i Elisa (Axon and Ellis 1976). Na slici 56. ucrtan je položaj kruga Petlje (V+VI) preko zbirne slike E-vektora polarizacije iz rada Metjusona i Forda. Poredjenje sa kartama E-vektora datim za razne daljine većeg broja zvezda (Axon and Ellis 1976) pokazuje da materija koja izaziva polarizaciju paralelnu radio-lukovima leži u intervalu izmedju 50 i 400 pc od nas, pri čemu je veći deo izmedju 100 i 200 pc. U oblasti Taurus-Perseus, E-vektori su upravni na pravac radio-luka. Što se tiče oblasti Cancer-Leo, ona je izgleda veoma siromašna

materijom, tako da se tu teško može nešto pouzdano reći u vezi sa polarizacijom. Optimista bi možda našao da postoji izvesna korelacija i između radio-luka u Lavu, odnosno Raku, i neutralnog vodonika sa karata Feješa i Veseliusa (1973) i Hejlasa (1975).

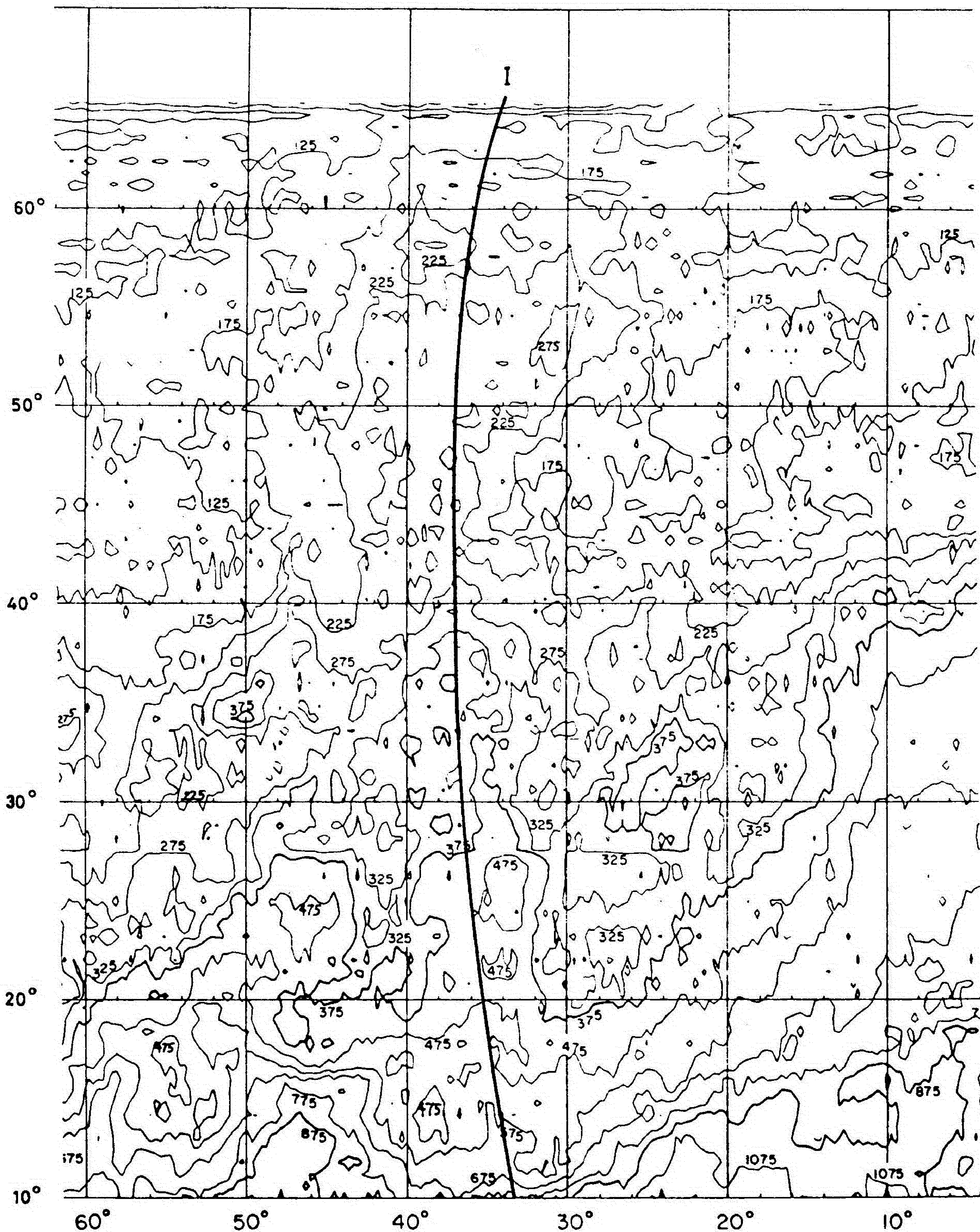
Analiza spektralnih indeksa ne može biti presudna za rešavanje tog pitanja, jer je poznato (Berkhuijsen 1971, ova teza), da ne moraju na svakom delu luka spektralni indeksi biti isti.

Zaključak u pogledu Petlje V, odnosno, Petlje VI ili Petlje (V+VI) jeste da za sada nema dovoljno materijala ni za potpunu potvrdu ni za opovrgavanje, ni za povezivanje sa Petljom III.

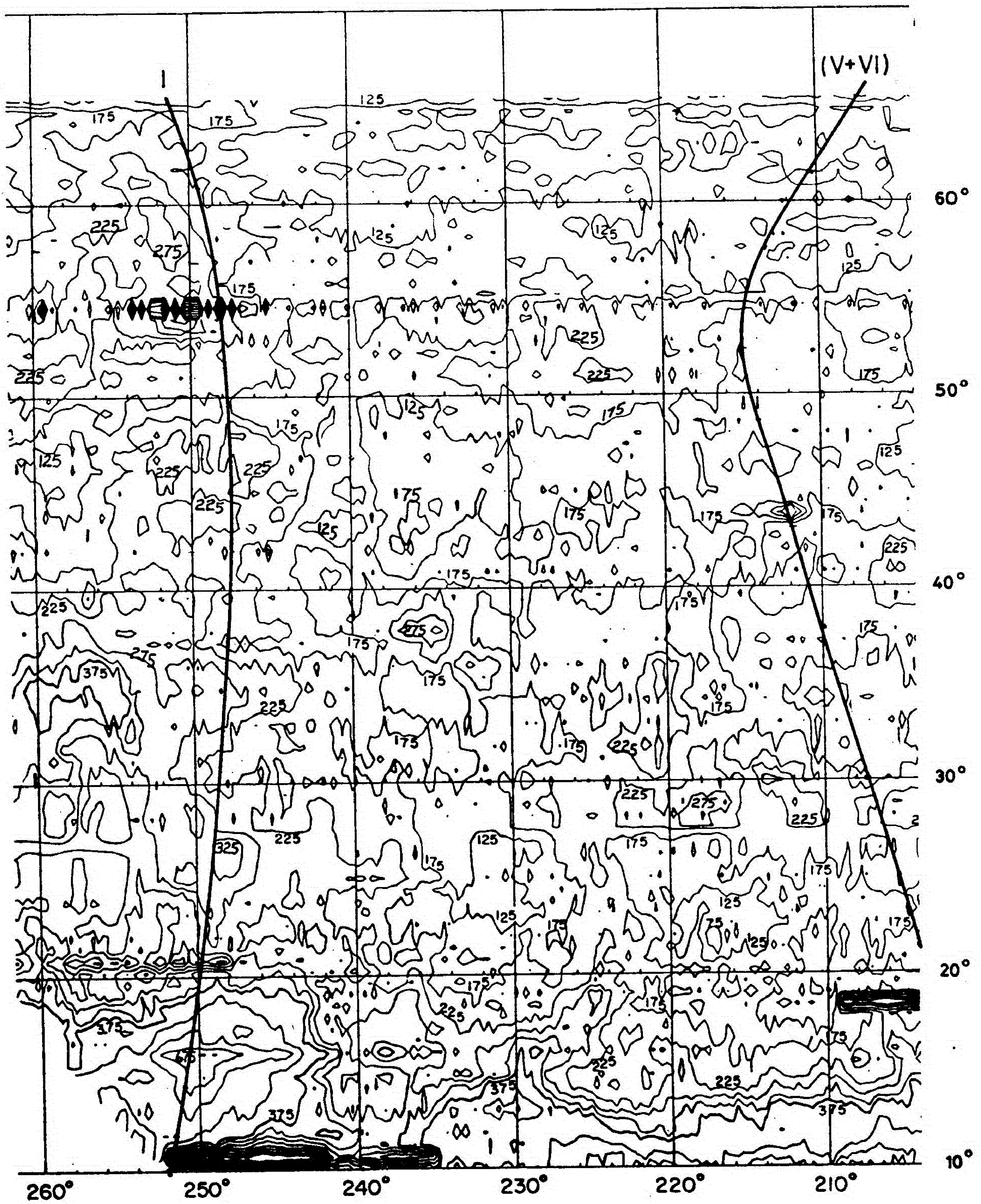
Mali krugovi hipotetičke Petlje (V+VI) i Petlje I (Prilog I) nacrtani su na slikama 57-63, superponovani preko raspodele H I kako ju je dao Heiles (1975).



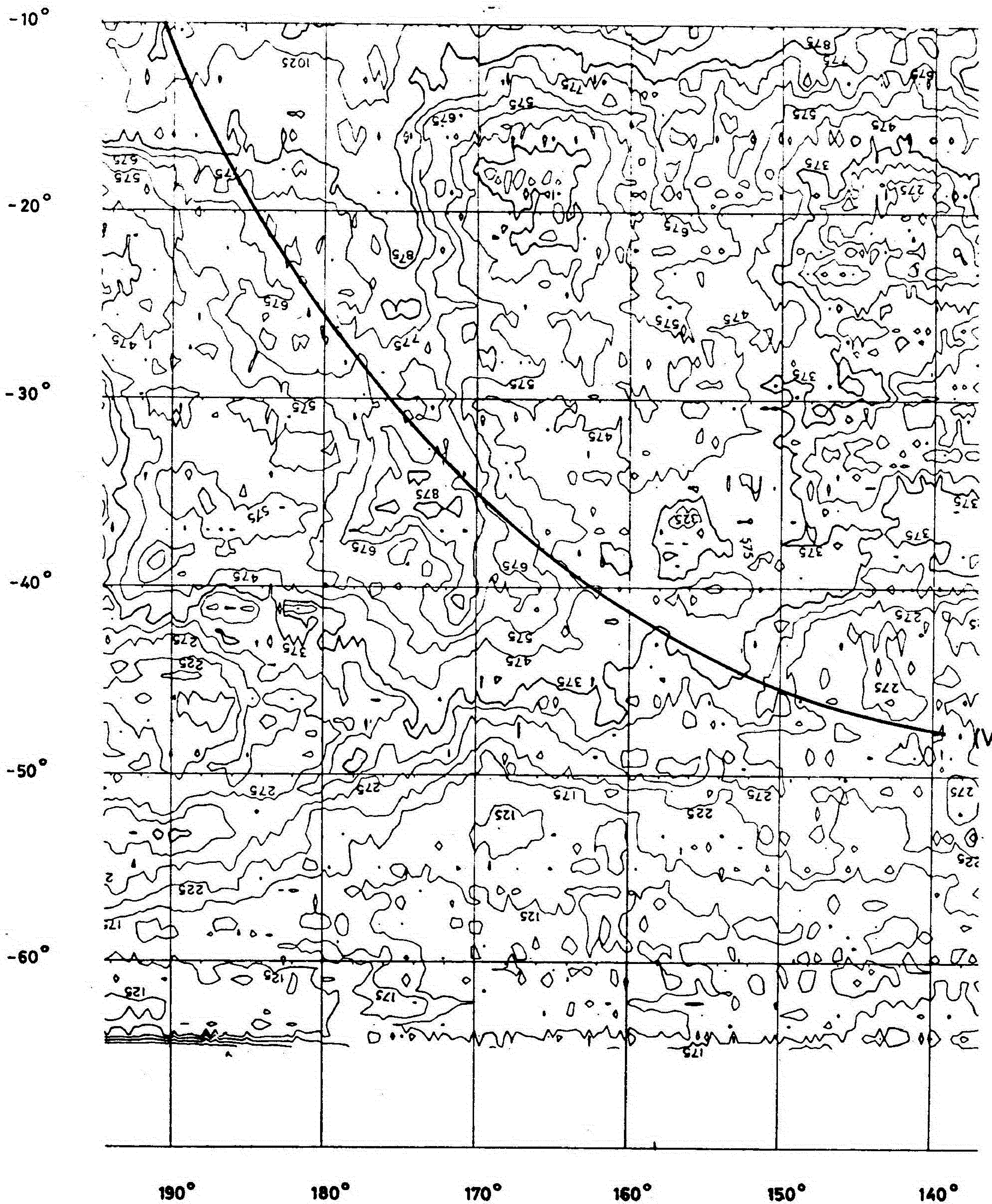
Slika 57. Izračunati mali krug moguće petlje (V + VI) superponovan preko raspodele HI (Heiles 1975).



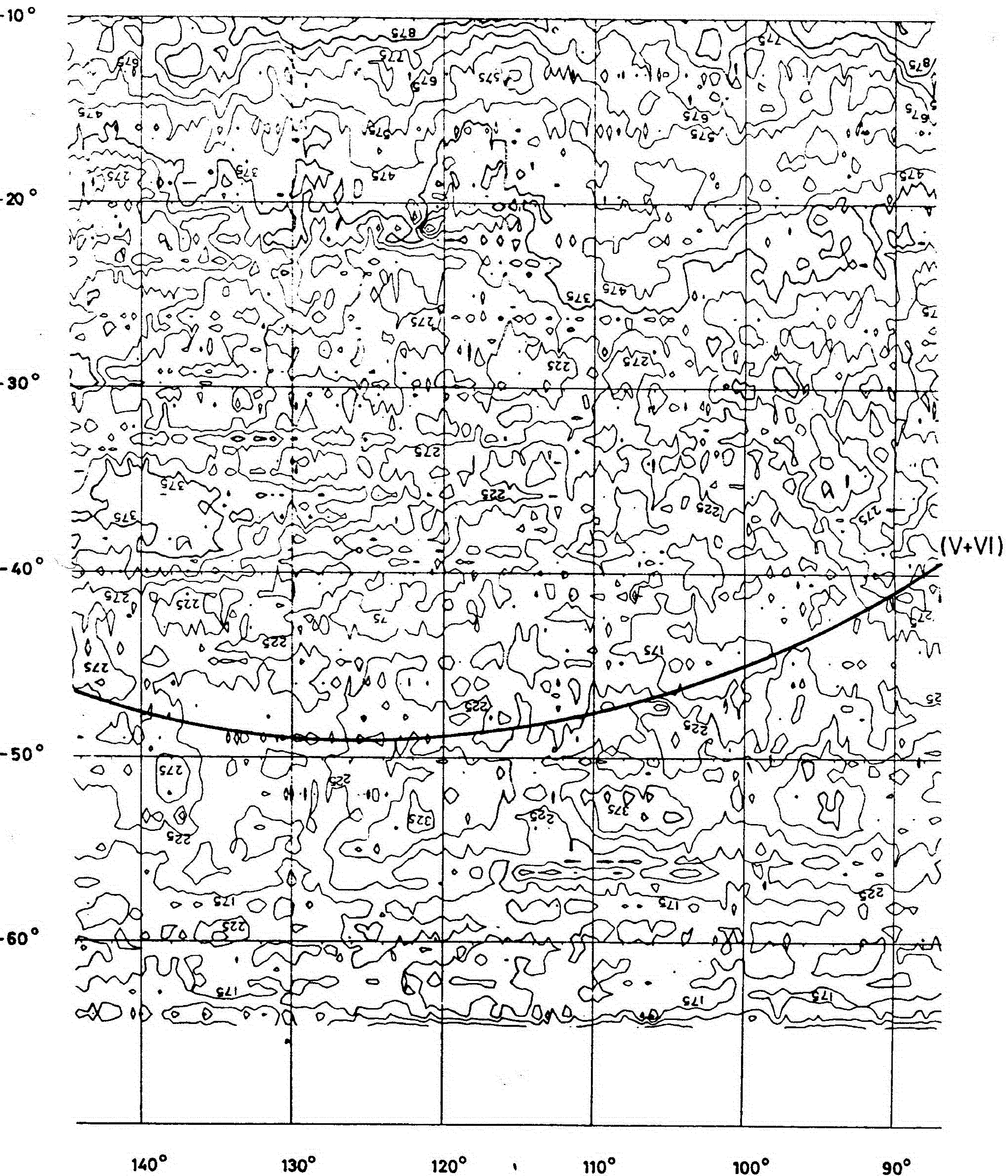
Slika 58. Izračunati mali krug Petlje I (Prilog I) superponovan preko raspodele HI (Heiles 1975).



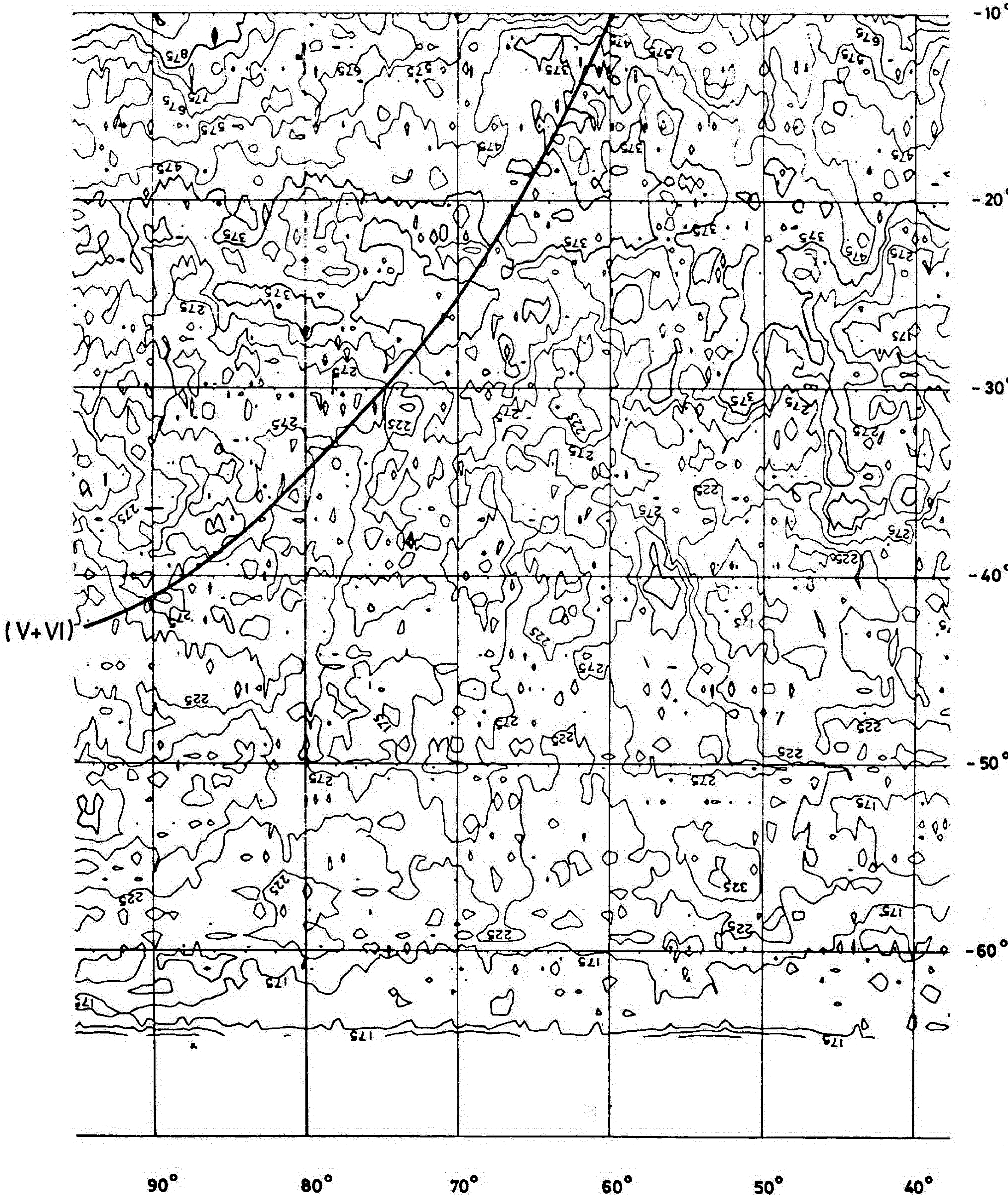
Slika 59. Izračunati mali krugovi Petlje I (Prilog I) i moguće Petlje (V + VI) superponovani preko raspodele HI (Heiles 1975).



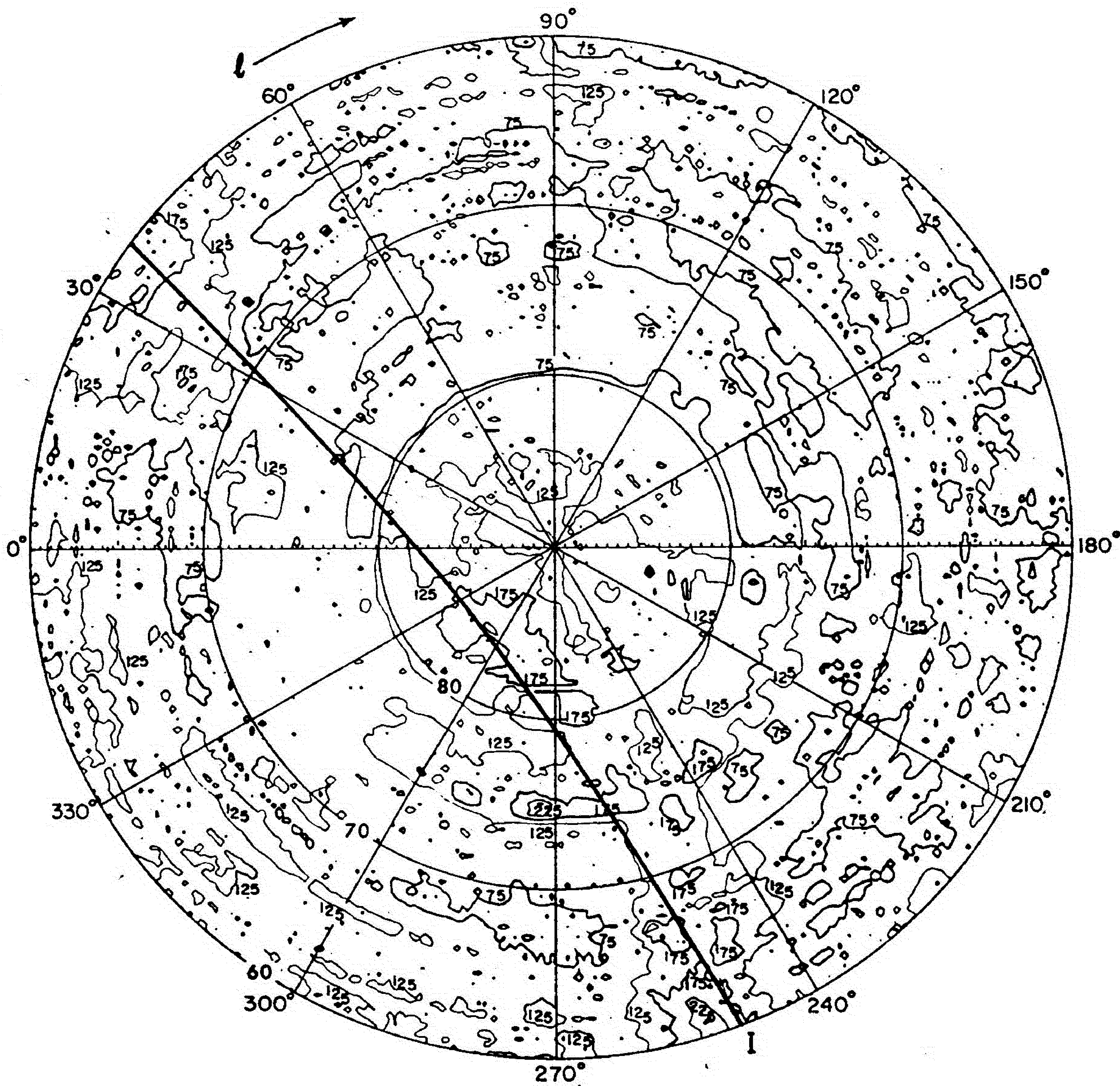
Slika 60. Izračunati mali krug moguće Petlje (V + VI) superponovan preko raspodele HI (Heiles 1975).



Slika 61. Izračunati mali krug moguće Petlje (V + VI) superponovan preko raspodele HI (Heiles 1975).



Slika 62. Izračunati mali krug moguće Petlje (V. + VI) superponovan preko raspodele HI (Heiles 1975).



Slika 63. Izračunati mali krug Petlje I (Prilog I) superponovan preko raspodele HI (Heiles 1975).

GLAVA 5.

UKUPNI SPEKTRALNI INDEKSI

5.1. Uvod

Jedan od osnovnih razloga za merenje neba na 38 MHz pomoću radio-teleskopa Mark-I bila je mogućnost da se taj pregled iskoristi za dobijanje spektralnih indeksa, i to kako tzv. ukupnih tako i diferencijalnih.

Kako iz same definicije tzv. ukupnog temperaturnog spektralnog indeksa β

$$T = k f^{-\beta}$$

sledi, on predstavlja nagib tetive u tačkama merenih učestanosti f_1 i f_2 na krivoj zavisnosti temperature sjaja od učestanosti datoj gornjim zakonom. On je istovremeno i nagib tangente u tački koja odgovara geometrijskoj (logaritamskoj) sredini učestanosti f_1 i f_2 . Otuda je

$$\frac{T(f_1)}{T(f_2)} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{-\beta}$$

U principu, spektralni indeks omogućava uvid u prirodu procesa koji dovode do merenog spektra zračenja. Međutim da li će to poći za rukom zavisi od složenosti spektra i mogućnosti koje dati opseg pruža.

Potencijalno, svaki apsolutni mereni pregled neba može poslužiti kao osnova za ispitivanje raspodele spektralnog indeksa po nebu. Ima smisla, međutim, porediti samo preglede koji su isti, ili bar bliske razdvojne moći. Ukoliko je

razdvojna moć različita, onaj veće razdvojne moći mora se konvolucijom dovesti na manju razdvojnu moć.

U ovoj tezi pregled na 38 MHz je nadovezan na preglede obavljene na 404 MHz (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962) i 408 MHz (Haslam et al. 1970, Haslam et al. 1974). Podatke na 408 MHz konvoluirane na razdvojnu moć pregleda na 38 MHz je autoru dao sam Haslam (Haslam 1975).

Pošto je osnovni nivo pregleda na 408 MHz nadovezan na pregled izmeren na 404 MHz to se svi rezultati moraju posmatrati kao izvedeni iz pregleda na 404 MHz. Ono što pregled na 408 MHz pruža to je uvid u detalje koji su izgubljeni, s obzirom da merenja na 404 MHz nisu dovoljno gusto pokrila nebo.

Iako je rad na 404 MHz objavljen još 1962. on i danas važi za jedan od fundamentalnih apsolutnih merenja severnog neba. Čak i znatno kasnije apsolutno merenje temperature severnog nebeskog pola pomoću brižljivo kalibrisanog horna na 408 MHz (Howell 1968) je pokazalo da je odgovarajuća temperatura na pregledu od 404 MHz svega oko 1 K previsoka, pri čemu je greška samo oko $\pm 0,9$ K, što znači da je možda korekcija i nepotrebna kao nepouzdana a mala.

U nekim delovima neba za potrebe izračunavanja diferencijalnih spektralnih indeksa korišćen je i pregled neba na 10 MHz (Caswell 1976) konvoluiran na istu razdvojnu moć od strane Haslama (Haslam and Salter, 1978).

5.2. Doprinos bočnih listova

Doprinos bočnih listova antenskoj temperaturi je veoma važan činilac o kome se mora voditi računa pri poredjenjima ovog pregleda neba sa drugima radi dobijanja spektralnog indeksa.

Pošto je u ovoj tezi poredjenje vršeno sa pregledom na 404 MHz i konvoluiranim pregledom na 408 MHz, diskusija će biti ograničena samo na probleme vezane sa njima.

Već prvi pogled na rad Polini-Tota i Šejkšafta (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962) pokazuje da je radio-teleskop koji su oni koristili imao dijagram usmerenosti veoma sličan dijagramu Mark-I teleskopa. Relativni otvor njihovog teleskopa je bio 1/0,23 dok je Mark-I imao 1/0,25. Njihov glavni list je $6^{\circ},5$ po azimutu, a $8^{\circ},5$ po visini bio širok, dok su odgovarajuće vrednosti za ovaj pregled bile $7^{\circ} 1/4$ i $8^{\circ} 1/4$. Učešća glavnog lista u ukupnoj primljenoj snazi bila su 85% i 83%, bočnih listova 14% i 16%, a zadnjih listova svega 1%, za kejmbridžski teleskop i Mark-I, respektivno.

S obzirom na tačnost merenja, ova dva radio-teleskopa se mogu smatrati srazmernim tako da poredjenje sa pregledom na 404 MHz može neposredno da se vrši.

Pregled na 408 MHz (Haslam et al. 1974) je imao razdvojniću moć od $37'$. Na daljini od 5° , računajući od središta glavnog lista, njegovi boćni listovi su zanemarljivo mali. Konvolucijom na razdvojniću moć pregleda koji je u ovoj tezi dat, naćinjen je glavni list širokim $7^{\circ} 1/4 \times 8^{\circ} 1/4$. Boćni listovi su u takvom dijagramu usmerenosti odsutni jer oni koji su bili znaćajniji konvolucijom su se utopili u glavni list, a oni van kruga od 5° su zanemarljivi. To znaći da je konvoluirana temperatura na 408 MHz ustvari predstavljala tzv. temperaturu glavnog lista (vidi 3.2.6.). Množenjem sa faktorom $x = \frac{\Omega_g}{\Omega_a}$ dobija se doprinos T_g glavnog lista temperature koju bi teleskop tog dijagrama izmerio.

S obzirom da je za apsolutnu kalibraciju pregleda na 408 MHz uzet pregled od 404 MHz, smatralo se prirodnićim i

lakšim glavnom listu dobijenom konvolucijom dodati bočne listove koje su Polini-Tot i Šejkšaft izračunali za svoj pregled neba od 404 MHz. To je učinjeno i to tako što su prvo izračunati doprinosi bočnih listova za tabularnu mrežu koja je odgovarala pregledu na 38 MHz u ekvatorskim koordinatama. Zatim je nacrtana karta linija konstantnih doprinosa u galaktičkim koordinatama (sl. 32). Sa te karte su zatim očitane vrednosti doprinosa bočnih listova za sve tabularne tačke u galaktičkim koordinatama. Te tabularne tačke su odgovarale čvornim tačkama matrice na 38 MHz.

Pošto je konvoluiranim temperaturama na 408 MHz pomnoženim sa faktorom 0,85 dodat doprinos bočnih listova dobijena je matrica antenskih temperatura na 408 MHz koja se mogla direktno upotrebiti u sprezi sa antenskim temperaturama na 38 MHz.

5.3. Uticao polarizacije na izvedena spektralne indekse

Danas je poznato da je radio-zračenje u nekim oblastima neba polarizovano i to utoliko više ukoliko se ide ka višim učestanostima.

Polarizacija je linijska i naročito je izražena oko $l = 140^\circ$, $b = 5^\circ$ i Severne Polarne Petlje.

Zbog nje je Webster (Webster 1974) morao da ozbiljno koriguje svoje podatke.

Za rezultate iznete u ovoj tezi polarizacija nije od značaja jer su učestanosti srazmerno niske, a antene su bile osetljive na cirkularnu, a ne linijsku polarizaciju, sem u slučaju pregleda na 404 MHz. Medjutim, ni tu polarizacija nije mogla imati veliku ulogu o čemu slikovito govori činjenica da

Vilebinski i Šejkšaft (Wielebinski and Shakeshaft 1964) mereći sa istim teleskopom nisu izmerili polarizaciju u prvom pokušaju već kasnije.

Ipak je u ovoj tezi to pitanje podrobno izučeno i došlo se do zaključka da bi korekcija koju bi u najpolarizovanijim delovima mogli primeniti na spektralni indeks najviše 0,03, ali da je ta vrednost suviše nesigurna da bi je samo u ponekim mestima upotrebili. Ona ne bi promenila ni jedan od zaključaka ove teze jer ne bi uticala na bitne karakteristike raspodele spektralnih indeksa.

5.4. KARTE SPEKTRALNIH INDEKSA

5.4.1. Karta spektralnih indeksa između 38 MHz i 404 MHz

Na slici 64 a i b data je karta raspodele spektralnih indeksa između 38 MHz i 404 MHz izračunatih iz proste veze

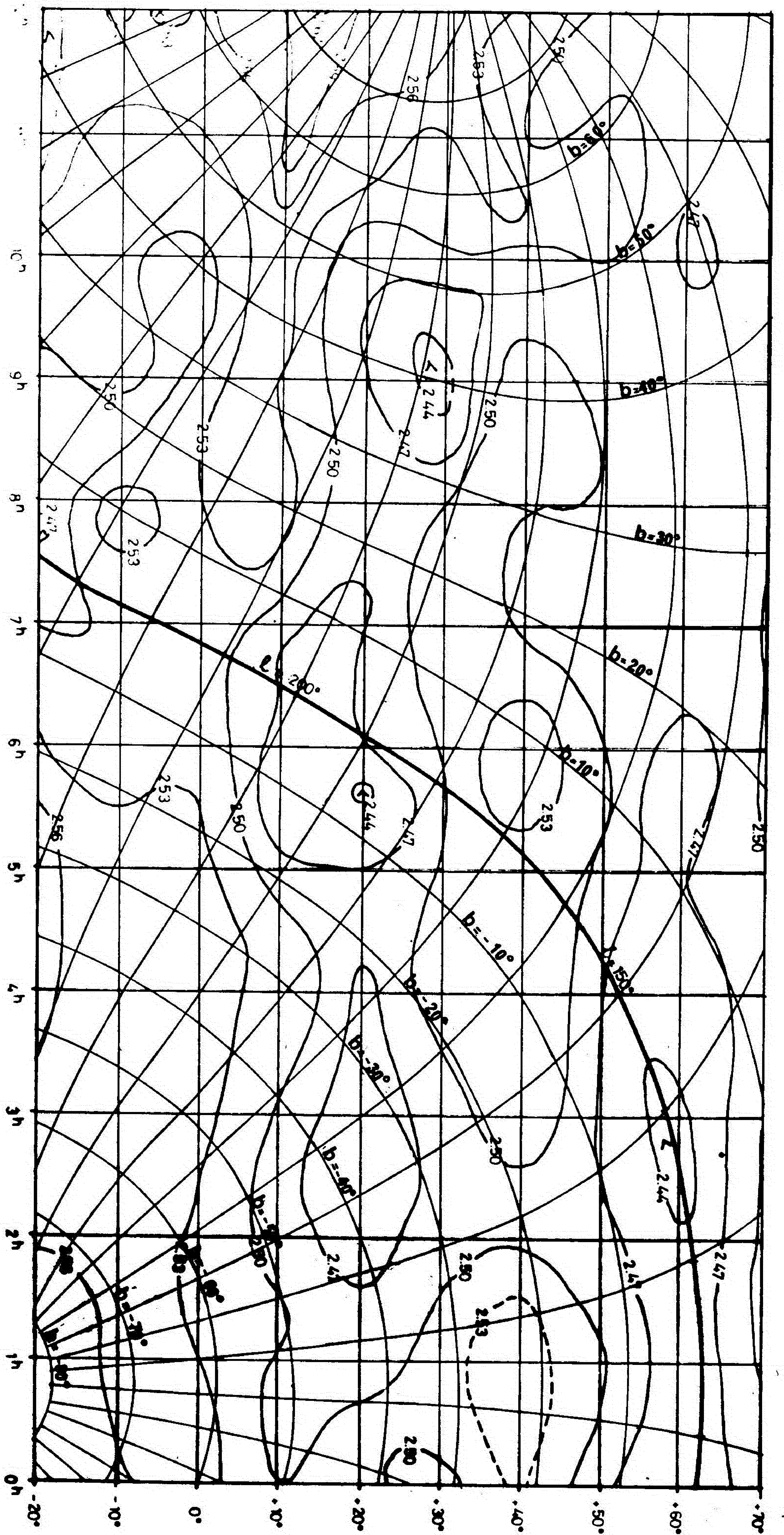
$$\frac{T(38)}{T(404)} = \left(\frac{38}{404}\right)^{-\beta}$$

odakle je $\beta = 0,423\ 042\ 5 \ln(T(38)/T(404))$

Karta je data u nebeskom ekvatorskom sistemu. Temperature koje su tu korišćene su antenske temperature ispravljene za sve neophodne faktore, što znači da su temperature na 38 MHz ispravljene za jonosfersku apsorpciju i sprezanje podataka, a temperature na 404 MHz su uzete iz objavljene tablice i ispravljene za razliku između izračunate i eksperimentalne krive doprinosa tla i atmosfere.

Legenda uz sliku 64. a b

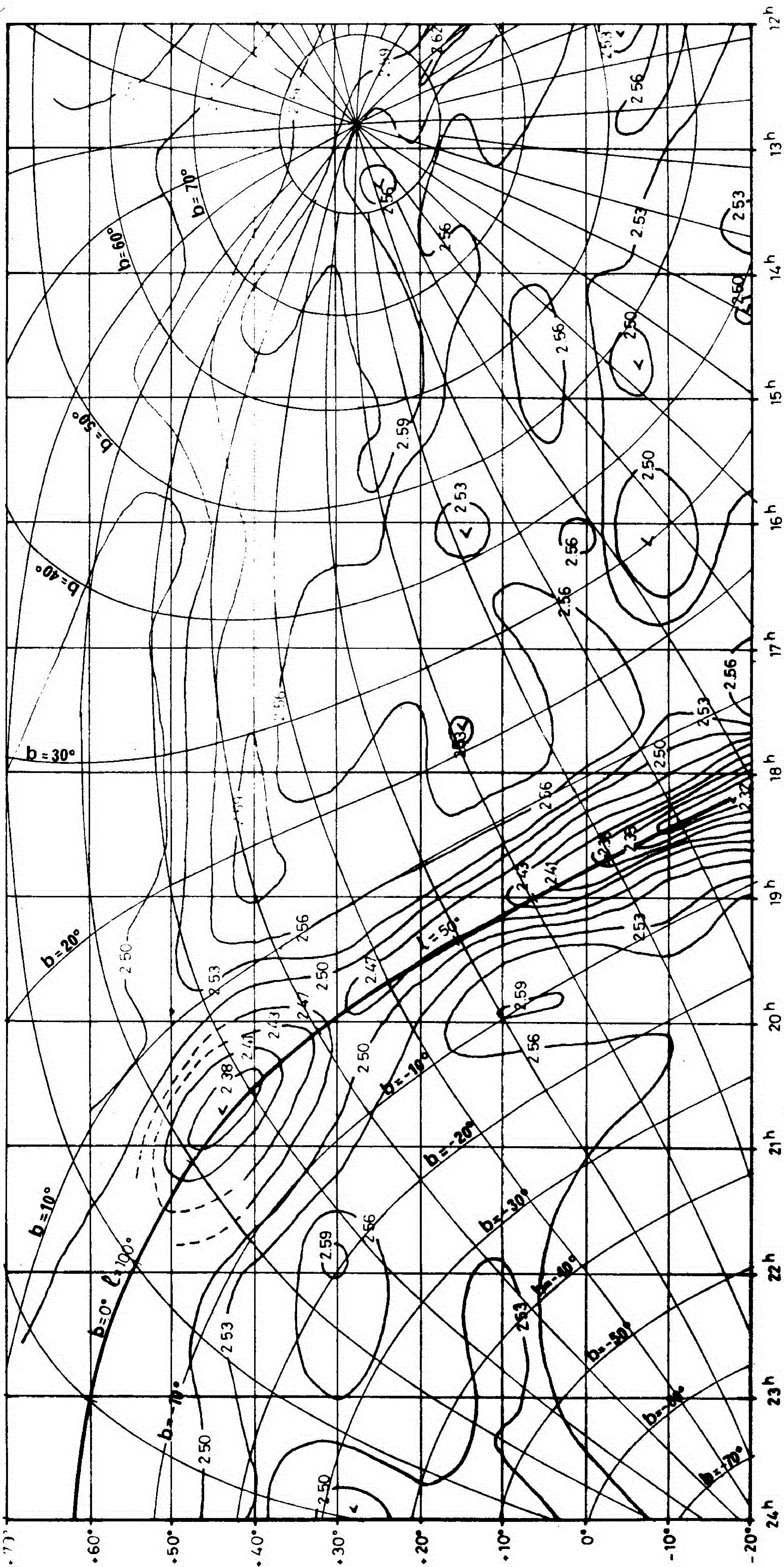
Karta kontura $\beta/38, 404/$ u ekvatorijalnim koordinatama sa superponiranim približnom mrežom galaktičkih koordinata.



α

SI 1ka 64a.

5



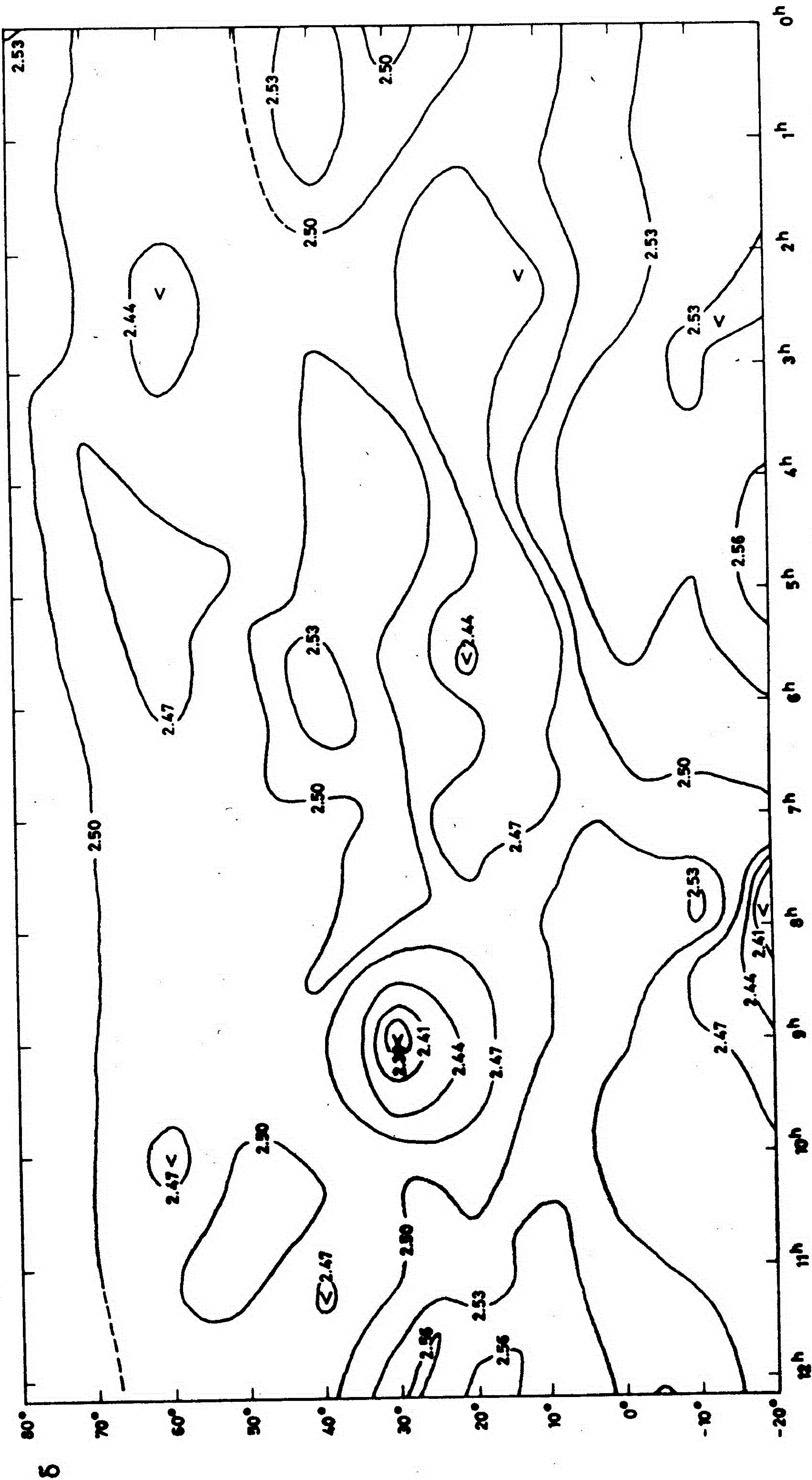
α

Slika 64b.

T a b l i c a 4

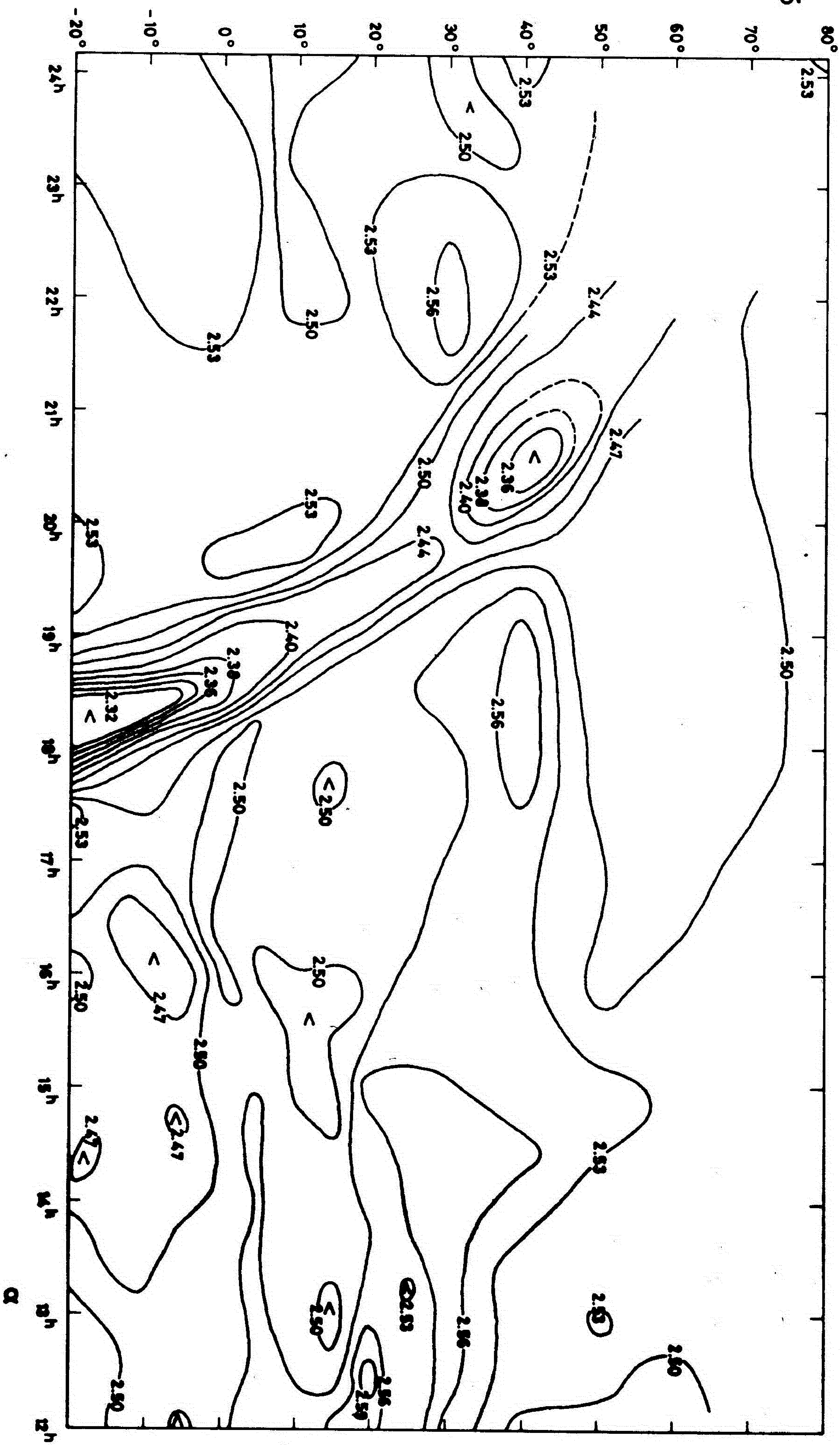
Ukupni temperaturski spektralni indeksi $\beta(38, 404)$ u oblasti severne ekvatorijalne polarne kape u ekvatorskim koordinatama

| R A | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| 0 ^h - 24 ^h | | | | | 2,51 |
| 2 ^h 30 ^m | 2,48 | 2,50 | 2,46 | 2,49 | |
| 4 ^h 32 ^m | 2,50 | 2,48 | 2,50 | 2,49 | |
| 5 ^h 48 ^m | 2,49 | 2,47 | 2,48 | | |
| 6 ^h 30 ^m | 2,48 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | |
| 13 ^h 30 ^m | 2,49 | 2,50 | 2,51 | 2,52 | |
| 13 ^h 52 ^m | 2,49 | 2,51 | 2,52 | 2,52 | |
| 15 ^h 28 ^m | 2,51 | 2,52 | 2,52 | 2,54 | |
| 16 ^h 40 ^m | 2,52 | 2,48 | 2,50 | 2,52 | |
| 21 ^h 24 ^m | 2,52 | 2,52 | 2,50 | 2,50 | |



Slika 65a. Karta ukupnih spektralnih indeksa β (38,404) bez obra-
čuna jonosferske apsorpcije i pratećih efekata.

5



SI1ka 65b.

Pošto je ova karta prva svoje vrste u radio-astronomiji, radi sigurnosti u izvlačenju zaključaka nacrtana je i karta a i b pri čijoj izradi antenske temperature na 38 MHz nisu ispravljene za doprinos jonosferske apsorpcije i njene posredne uticaje.

Kao i u slučaju karte antenskih temperatura, za razmak između kontura izabrana je takva vrednost koja bi približno odražavala stepen pouzdanosti podataka, a istovremeno davala dovoljno razudjenu sliku.

Pošto su vrednosti u oblasti severne ekvatorijalne kape raspoložive u tačkama koje nisu dovoljno blisko raspoređene da bi se nacrtala karta, spektralni indeksi su dati u tablici 4. Oni su svi izvedeni iz merenja na 38 MHz obavljenih u januaru 1967. pomoću deklinacijskih skaniranja.

5.4.2. Karte spektralnih indeksa između 38 MHz i 408 MHz

Karte koje su date na slikama 66-68. su izvedene iz podataka na 408 MHz. Pošto se išlo na to da antenske temperature budu prilagodjene slučaju srazmernih antena, antenske temperature su iz konvoluiranih podataka T_k izračunate prema izrazu

$$T_a = 0,85 T_k + b ,$$

gde je 0,85 jednak odnosu prostornih uglova glavnog lista i ukupnog dijagrama antene, a veličina b daje učešće bočnih listova izračunatih kako je opisano u 5.2.

Karte su date u galaktičkim koordinatama, sa korakom kontura prilagodjenim pouzdanosti karte.

Prva karta (sl. 66) daje neposredno izračunate totalne

Legenda uz sliku 66.

Karta kontura konstantnih spektralnih indeksa $K(38, 408)$ u galaktičkim koordinatama dela severnog neba između $-20^\circ < \delta < 60^\circ$ za $0^h < \lambda < 12^h$ i $-8^\circ < \delta < 48^\circ$ za $12^h < \lambda < 24^h$. Granične oblasti su nešto manje od deklarisanja zbog tehnike izrade karata.

Na kartu su naneti i približni položaji radio-lukova:

(1) Severnog Polarnog Luka prema položaju i nazivima grebenova navedenim u radu Haslama sa saradnicima (Haslam et al. 1964) i to preko grebenova J, F, D, B i C.

(2) Luka Kita preko grebenova označenih ovde sa b', C.A. i t. Položaji su ucrtani prema radu Berkhujzenove (Berkhujzen 1971).

(3) Petlje II preko Lukova a i b iz rada Berkhujzenove (Berkhujzen 1971) i III iz ove teze.

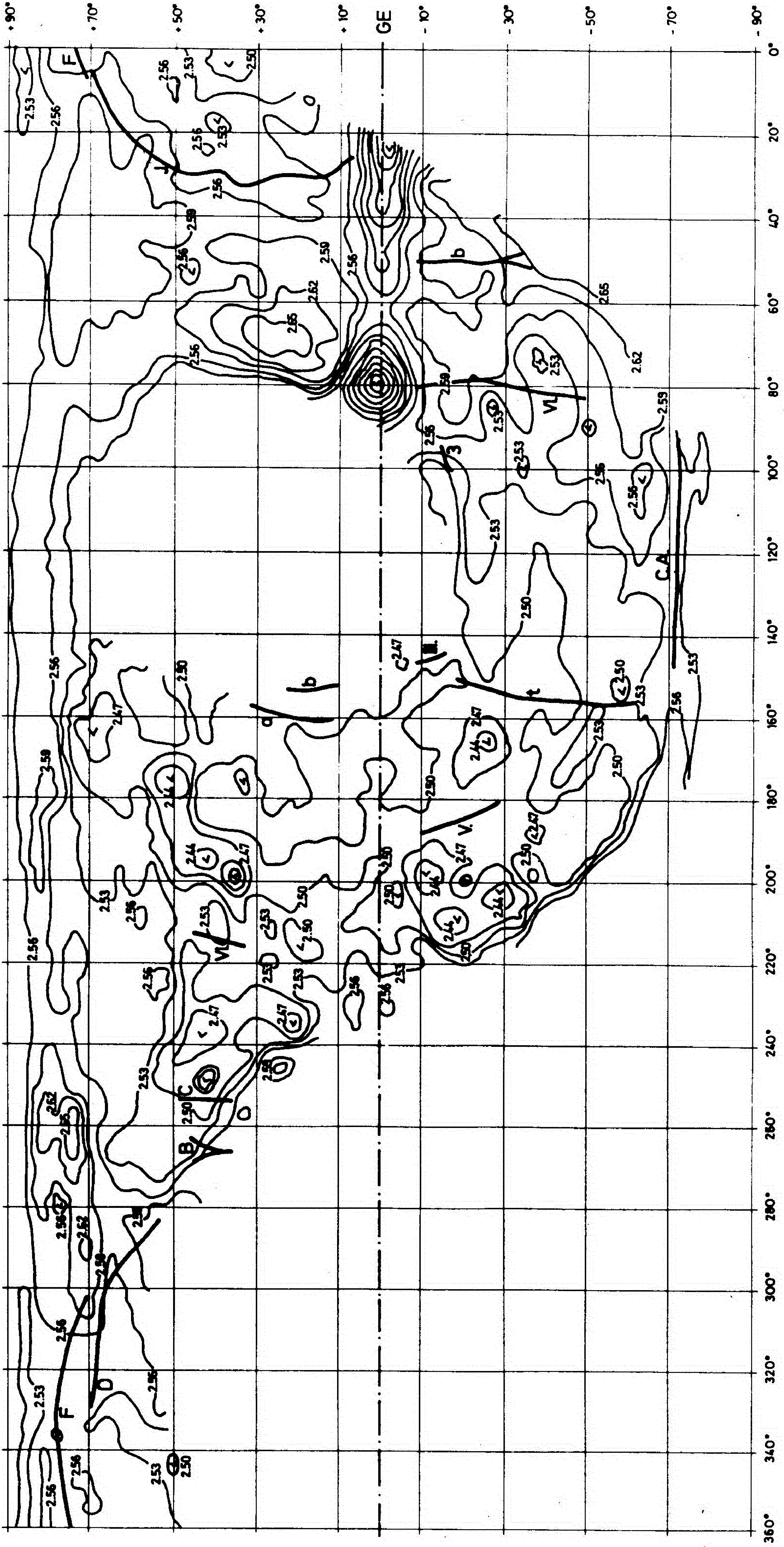
(4) Lukovi na oko $\lambda \approx 80^\circ$ i $\lambda \approx 190^\circ$ takodje prema radu Berkhujzenove (Berkhujzen 1971) a označeni sa V' i V.

(5) Luk u Lavu prema ovoj tezi a označen sa VI.

(6) Mogući nastavak Petlje III oko $\lambda \approx 100^\circ$ prema ovoj tezi označen sa 3.

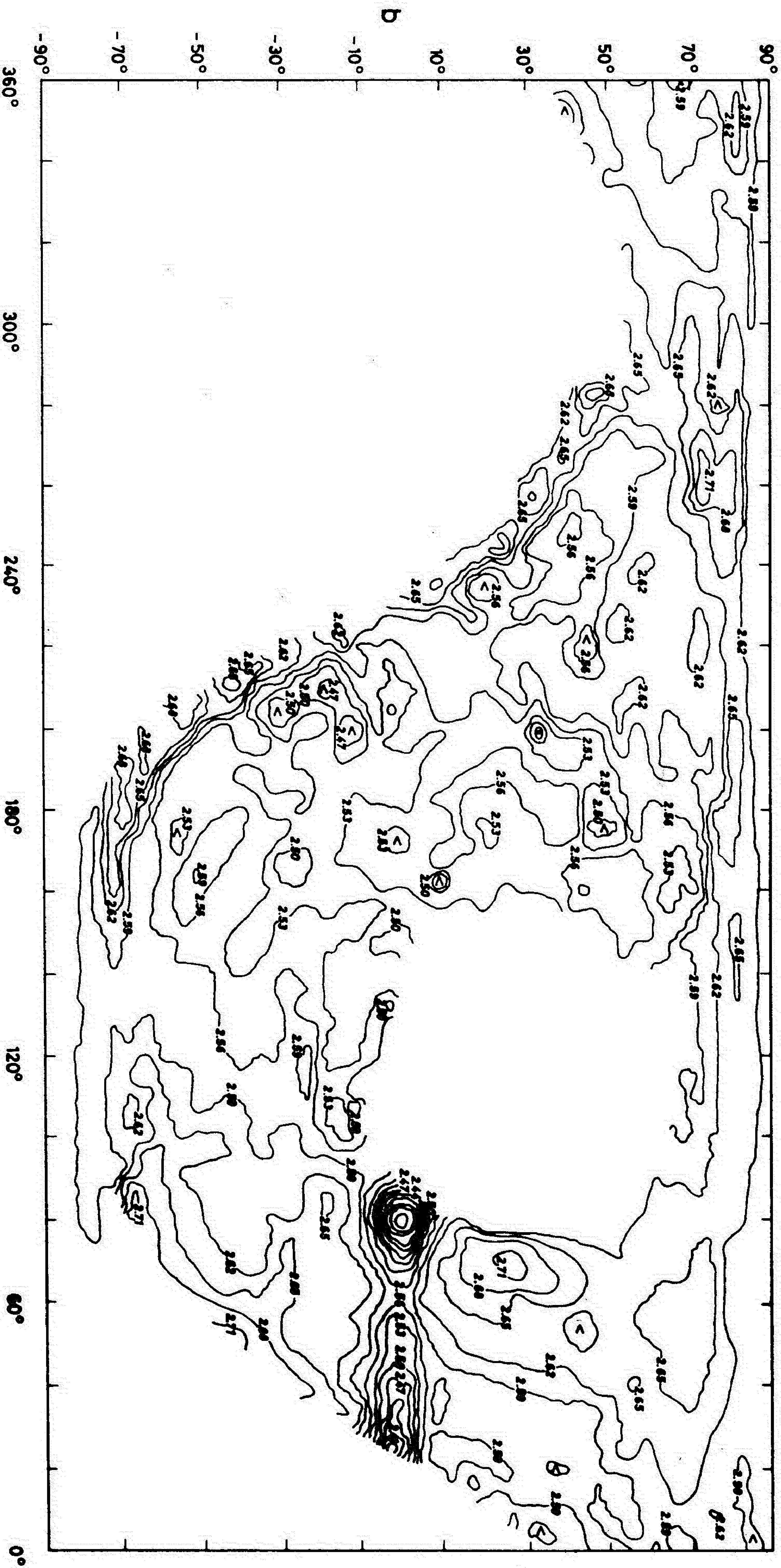
G.E. označava galaktički ekvator.

GE b

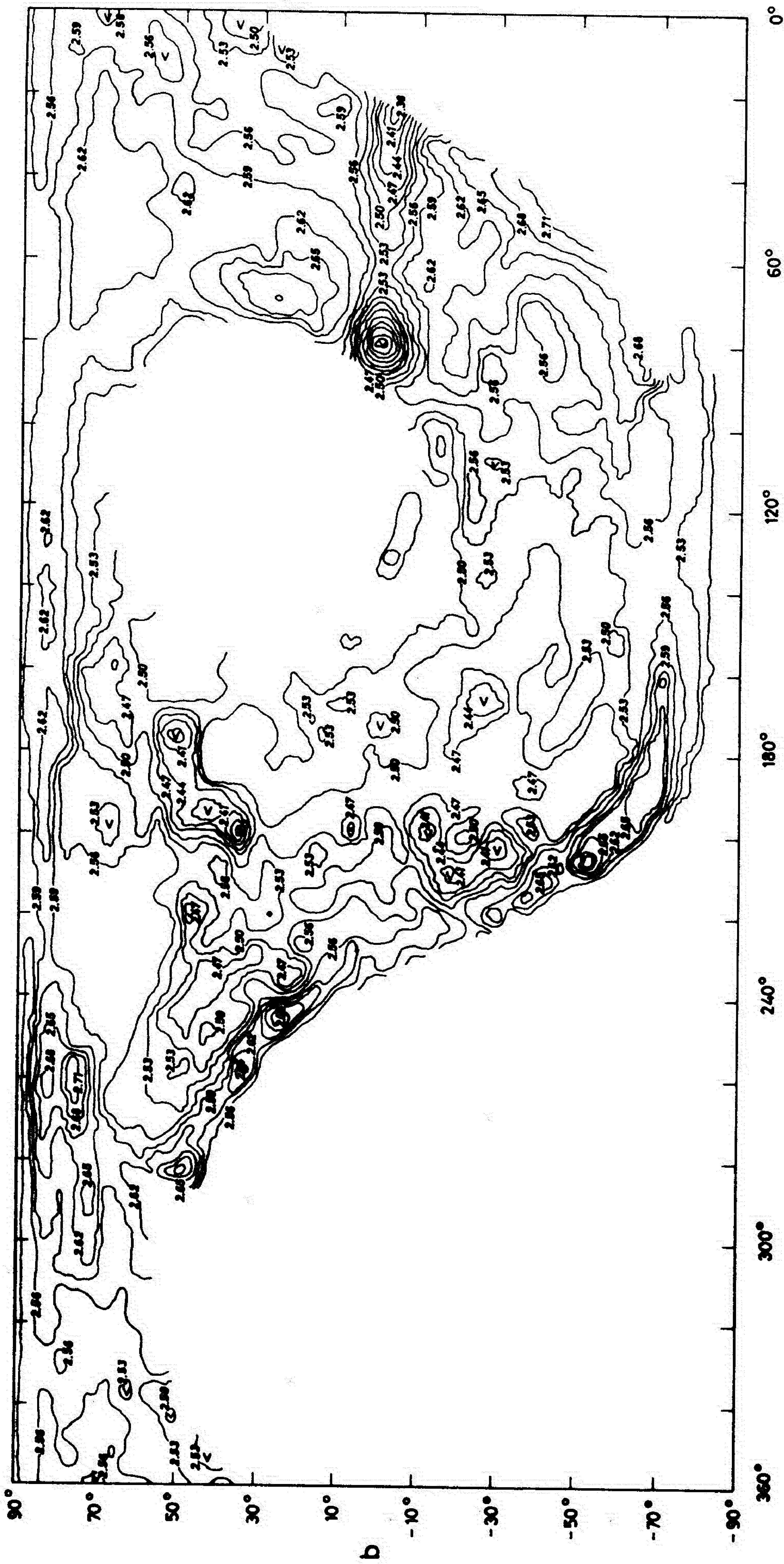


!

Slika 66.



Slika 67. Karta ukupnih spektralnih indeksa β (38,408) izvedenih iz posmatranja od kojih je oduzeto reliktno zračenje.



Slika 68. Karta ukupnih spektralnih indeksa β (38,408) izvedenih iz podataka od kojih je oduzeto reliktno zračenje i integrirano zračenje drugih galaksija.

T a b l i c a 5.

ukupnih temperaturskih spektralnih indeksa $\beta(38, 408)$ u oblasti severne ekvatorijalne kape datih u galaktičkim koordinatama sa tačnošću do 1°

| l° | b° | $\beta(38, 408)$ | l° | b° | $\beta(38, 408)$ |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|
| 102 | 36 | 2,53 | 121 | 37 | 2,52 |
| 106 | 42 | 2,52 | 122 | 32 | 2,53 |
| 107 | 14 | 2,53 | 123 | 27 | 2,52 |
| 108 | 35 | 2,49 | 125 | 23 | 2,50 |
| 111 | 18 | 2,53 | 127 | 18 | 2,47 |
| 111 | 38 | 2,53 | 128 | 25 | 2,50 |
| 113 | 32 | 2,51 | 129 | 14 | 2,51 |
| 115 | 21 | 2,51 | 129 | 27 | 2,51 |
| 115 | 35 | 2,53 | 131 | 9 | 2,49 |
| 115 | 46 | 2,50 | 132 | 21 | 2,51 |
| 118 | 30 | 2,53 | 134 | 24 | 2,49 |
| 118 | 42 | 2,52 | 134 | 26 | 2,51 |
| 118 | 47 | 2,50 | 136 | 18 | 2,49 |
| 119 | 24 | 2,51 | 139 | 23 | 2,48 |
| 119 | 31 | 2,55 | 140 | 15 | 2,51 |
| 120 | 37 | 2,53 | 140 | 25 | 2,51 |
| 120 | 42 | 2,51 | 144 | 21 | 2,50 |
| 121 | 32 | 2,53 | 145 | 24 | 2,49 |

temperatureske spektralne indekse

$$\beta = 0,421\ 286\ 6 \cdot \ln\left(\frac{T_{(38)}}{T_{(408)}}\right)$$

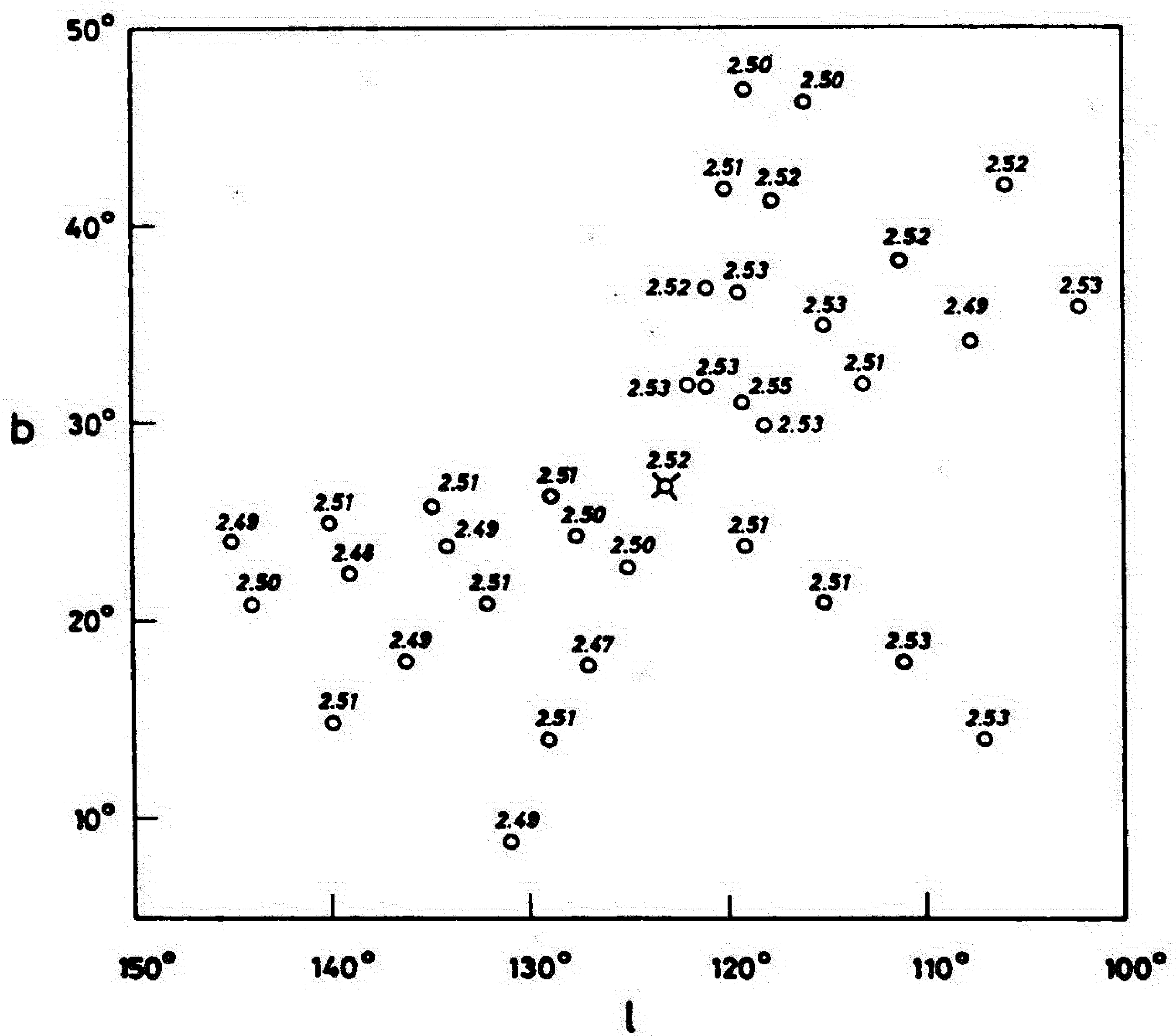
Na drugoj karti (sl. 67) temperature su umanjene za 2,7 K, što odgovara reliktnom zračenju, dok su na trećoj karti (sl. 68) temperature i na jednoj i na drugoj učestanosti umanjene za temperaturu reliktnog zračenja (2,7 K) i temperaturu integriranih ekstragalaktičkih izvora zračenja. Ova poslednja je izračunata iz Brajdlovih podataka (Bridle 1967). Na 38 MHz taj doprinos je izračunat da iznosi 2096 K, dok je na 408 MHz bio svega 3,1 K.

Podaci na 408 MHz poticali su iz pregleda neba obavljenog u Džodrel Benku (Haslam et al. 1970) do deklinacije -20° i pregleda obavljenog u Bonu (Haslam et al. 1974) do -8° . Na mestu sastava ($\alpha = 0^h$) na karti temperaturnih indeksa zapaža se diskontinuitet koji je nesumnjivo uslovljen skokom u podacima iz ta dva rada.

Prema Solteru (Salter 1978), deo na najnižoj deklinaciji pregleda iz Džodrel Benka je lošijeg kvaliteta no oblast viših deklinacija. Sem toga, oblast $-20^{\circ} < \delta < 0^{\circ}$, $11^h < \alpha < 12^h$ nije pouzdana kao i deo za $20^h < \alpha < 22^h$ (Salter 1978). Temperature na 408 MHz u ove dve poslednje oblasti su verovatno preniske. Analiza tih podataka je preispitivana za pregled celog neba na 408 MHz koji je nedavno završen.

S obzirom da su korišćeni podaci sa 408 MHz veoma izgledjeni, pošto su dobijeni konvolucijom, to uglavnom svi sitniji detalji na karti spektralnih indeksa potiču od podataka na 38 MHz.

Spektralni indeksi $\beta(38, 404)$ za oblast severne ekvatorijalne kape dati su u tablici 4, a $\beta(38, 408)$ u



Slika 69. Raspodela ukupnih spektralnih indeksa β (38,408) u oblasti severne ekvatorijalne kape.

galaktičkim koordinatama u tablici 5. i slici 69. Konture konstantnih indeksa nisu izvlačene, jer uzorci nisu dovoljno često uzeti.

5.5. ASTROFIZIČKE KARAKTERISTIKE
RASPODELE SPEKTRALNIH
INDEKSA IZMEDJU 38 MHz I 404 (408) MHz

5.5.1. Osnovne karakteristike

Već na prvi pogled pada u oči da raspodela spektralnih indeksa ne oponaša raspodelu temperature na korišćenim učestanostima. Raspodela spektralnih indeksa pokazuje:

- 1) Srazmerno male promene spektralnih indeksa sa koordinatama,
- 2) znatniji raspon vrednosti samo oko galaktičke ravni u centralnoj hemisferi,
- 3) veće vrednosti spektralnih indeksa za $l < 90^\circ$, na višim latitudama izuzev za $l < 35^\circ$, $10^\circ < b < 70^\circ$,
- 4) manje vrednosti spektralnih indeksa za $90^\circ < l < 220^\circ$,
- 5) veće vrednosti u oblasti severnog galaktičkog pola no u oblasti južnog galaktičkog pola,
- 6) najniže vrednosti su dobijene oko galaktičke ravni

za $l < 55^\circ$ i oblasti Cyg X,

7) najveće se vrednosti zapažaju

a) severno od Jevernog Polarnog Luka za $45^\circ > \delta > 20^\circ$,
 $19^h,5 \geq \alpha \geq 10^h,5$,

b) južno od galaktičkog ekvatora za $l < 60^\circ$,
odnosno $\delta < 0^\circ$, $19^h,5 < \alpha < 2^h$.

8) Sve oblasti niskih temperatura imaju srazmerno male spektralne indekse, oko 2,5 ili manje.

Navedene osobine raspodele spektralnih indeksa autor smatra nesumnjivim. Samo pojedinosti bi se mogle pokazati možda netačnim, naročito tamo gde karta radio-neba ima više šuma. Tako su nepouzdati: malo ostrvo visokog indeksa na $l = 28^\circ$, $b = 42^\circ$, ostrvo niskog indeksa na $l = 56^\circ$, $b = 46^\circ$ i jezik višeg indeksa na $l = 30^\circ$, $b = 55^\circ$ zbog diskontinuiteta u spoju karte na 408 MHz. Nesigurna je i oblast visokog indeksa u anticentru za $\delta < -10^\circ$.

Analiza ovih odlika i njihova moguća tumačenja izneta su u sledećim odeljcima.

5.5.2. Karakteristike oblasti galaktičkog središta

Oblast galaktičkog središta, odnosno centralne hemisfere, je oblast oko galaktičkog središta i obuhvata galaktičke longitude manje od 90° , a veće od 270° . Sam galaktički centar na karti spektralnih indeksa nije obuhvaćen, jer mu je deklinacija skoro -29° , pa se sa umerenih severnih širina vidi veoma blizu horizonta, što je nepogodno za posmatranje.

Deo oblasti galaktičkog centra obrađen u ovom radu odlikuje se znatnim rasponom vrednosti spektralnih indeksa,

pri čemu se jasno izdvaja pojas niskih spektralnih indeksa oko galaktičke ravni i oblast znatno višeg spektralnog indeksa sa manjim varijacijama na višim galaktičkim latitudama.

5.5.2.1. Oblast niskih latituda

U blizini galaktičkog ekvatora veoma jasno se izdvajaju dve oblasti niskog spektralnog indeksa: pojas širine oko 18° skoro simetričan u odnosu na galaktički ekvator, za $l < 50^\circ$, i veoma upadljiva skoro kružna oblast u pravcu Cyg X (1, $b = 80^\circ, 2^\circ$). Iako se podrobnosti u raspodeli ne vide zbog male razdvojne moći, ipak se postojanje tih oblasti može očekivati da je povezano sa apsorpcijom od strane jonizovanog medjuzvezdanog vodonika za $l < 58^\circ$ u Strelčevom kraku i kraku u Štitu, a za $l = 80^\circ, b = 2^\circ$ u Labudovom produžetku tzv. Orionovog ogranka.

Puna širina oblasti niskog spektralnog indeksa iznosi oko 18° . Iz tog podatka u slučaju Gausove raspodele jonizovanog vodonika sa udaljenjem od galaktičke ravni i Gausovog glavnog lista dijagrama širine oko 10° sledilo bi da širina raspodele jonizovanog vodonika iznosi oko 15° . S obzirom da na veoma niskim učestanostima apsorpcija jasno pokazuje prisustvo jonizovanog vodonika u pojasu širine oko 20° , kada se posmatra teleskopima slične razdvojne moći (Ellis and Hamilton 1964, 1966, Reber 1968), širina zone niskog spektralnog indeksa dobro odgovara širini zone apsorpcije. Ne treba zaboraviti da pri razdvojnoj moći od oko 7° ne može se očekivati savršeno slaganje.

Zaključak u pogledu veze apsorpcije od strane jonizovanog medjuzvezdanog vodonika i izgleda te oblasti

podupire i istraživanje u vezi sa toplotnom i netoplotnom komponentom zračenja na 38 MHz (Glava 7, odeljak 1 i 2).

5.5.2.2. Oblast negativnih visokih latituda

Oblast južno od galaktičke ravni za $b < -10^\circ$, $l < 90^\circ$ ima spektralni indeks $\beta(38, 408) = 2,56$, sa maksimumom $\beta = 2,6$ za $40^\circ < l < 60^\circ$, $-50^\circ < b < -30^\circ$ na sl. 66. Jonosferska apsorpcija koja je najveća upravo u toj oblasti čini da pojedinih na karti spektralnih indeksa $\beta(38, 404)$ sa i bez obračuna njenog uticaja budu različite, mada opšti izgled tog dela ostaje nepromenjen na njima (sl. 64). Na obema varijantama ta oblast neba ima visoki spektralni indeks.

Malo ostrvce visokog spektralnog indeksa na oko $d = 22^h$, $\delta = 30^\circ$ je uzrokovano znatnom razlikom u izgledu neba na 38 MHz i 404 MHz u toj oblasti. S obzirom na to da je luk na 38 MHz u tom delu mali, nije nemoguće da je on artefakt i da stoga tom ostrvcu visokog indeksa ne treba pridavati veći značaj.

Pokušaj poistovećenja pojedinih oblasti u tom delu sa poznatim optičkim ili radio-objektima nije dao vezu izmedju njih. Ni Luk Kita ($l \approx 50^\circ$) ni luk na $l = 80^\circ$ ne pokazuje korelaciju sa izraženim oblastima spektralnog indeksa kao što se to može videti sa slike 66, gde je radi očevidnosti Luk Kita šematski predstavljen sa linijom b, a luk na $l = 85^\circ$ sa linijom V'. Izmedju ta dva luka, u Vodoliji, nalazi se hladna rupa niskog indeksa.

Jedna od mogućnosti poistovećenja se činila u povezivanju ove oblasti sa galaktičkim radio-haloom za koga se

očekuje da ima visoki spektralni indeks (Webster 1975, 1978) i geometrijske manifestacije slične uočenim na karti spektralnih indeksa (vidi 4.4.1). Ispitivanja mogućnosti poistovećivanja sa radio-haloom podrobno je opisano u odeljku 5.6.

Druga mogućnost koju sagledava autor ove teze jeste da je oblast nekako povezana sa Petljom I, odnosno njenim nastavkom na negativnim latitudama (5.7.).

5.5.2.3. Oblast pozitivnih visokih latituda

Oblast gde je $b > 10^\circ$, $250^\circ < l < 90^\circ$ se odlikuje velikim rasponom spektralnih indeksa i na karti $\beta(38, 408)$ (sl. 66) i kartama $\beta(38, 404)$ sa (sl. 64) i bez korekcije (sl. 65) za jonosfersku apsorpciju. Ona ima sledeće osobine:

1. Oblast grebena Severnog Polarnog Luka uključujući oblast severnog i južnog gradijenta ima znatno manji indeks no u oblasti van njega, a pogotovu od oblasti severno od severnog gradijenta.
2. Posmatrani deo oblasti unutar Petlje I ima znatno niži indeks no oblast grebena i gradijenta Severnog Polarnog Luka. Minimum dostiže na granicama karte ($l = 4^\circ$, $b = 35^\circ$, $l = 344^\circ$, $b = 30^\circ$) gde je $\beta(38, 408)$ nešto manji od 2,50.
3. Severno od severnog gradijenta Severnog Polarnog Luka, spektralni indeks ima visoke vrednosti, dostižući u $l = 70^\circ$, $b = 20^\circ$ i $l = 260^\circ$, $b = 75^\circ$ najviše zabeležene vrednosti na karti. U tim tačkama $\beta(38, 408)$ iznosi nešto više od 2,65.

4. U oblasti visokog spektralnog indeksa severno od Severnog Polarnog Luka, od $b = 45^{\circ}$, $l = 40^{\circ}$ do $b = 50^{\circ}$, $l = 80^{\circ}$ postoji osetno smanjenje spektralnog indeksa koje se po položaju podudara sa oblašću emisionog platoa koji se odvaja od Severnog Polarnog Luka.

Već samim opisom detalja date su poneke korelacije između raspodele spektralnih indeksa u ovoj oblasti i tog dela radio-neba. Opis je tako dat ne zato da bi se prejudiciralo poistovećenje, već zato što je neke oblike bilo tako lakše opisati zbog zakrivljenosti relevantnih oblasti. Treba dodati već datim poistovećenjima u 1. i 4. da oblasti minimuma spektralnog indeksa iz 2. poklapa se po položaju sa oblašću niske temperature južno od Severne Polarne Petlje. Oblast visokog spektralnog indeksa leži u delu gde nikakvih izrazitijih objekata na radio-nebu nema. Ta oblast leži na spoljnjem rubu gradijenta Severnog Polarnog Luka kako se vidi na karti razdvojne moći od 7^o, 7. Ona leži van oblasti neutralnog vodonika (na $l = 40^{\circ}$) za koji je dokazano da je povezan sa Severnim Polarnim Lukom prvo od strane Saltera (Salter 1970), a kasnije najpotpunije od strane Hejlesa (Heiles 1975). Za sada je samo mali deo te oblasti posmatran u X zracima, ali tamo gde jeste, nadjeno je da na $l = 65^{\circ}$, $b = 45^{\circ}$ postoji povećanje X zračenje (De Ann 1980).

Kao što se može videti iz 5.5.6.gde je izneto poređenje rezultata ove teze sa radovima drugih autora u realnost oblasti visokog spektralnog indeksa severno od Severnog Polarnog Luka ne treba sumnjati. Nesigurni su po mišljenju autora samo maksimumi: ostrvce veoma visokog indeksa $\beta(38, 408) \sim 2,65$ jer je izazvano malim lukom koji postoji na karti neba

na 38 MHz, na $b = 40^\circ$, $17^h,5 < \lambda < 19^h$, a ne i na 408 MHz, odnosno 404 MHz i složena oblast radio-neba u blizini Virgo A $12^h < \lambda < 13^h$, $\delta = 15^\circ$ za koju je još pri publikovanju karte na 38 MHz rečeno da je manje pouzdana. Nesigurnost je samo u tome što tu vrednosti mogu biti nešto niže, ali svakako ne toliko da snize indeks ispod indeksa neposredne okoline.

Ako se u slučaju navedenih ostrva visokog indeksa može posumnjati u njihovu realnost zbog smetnji koje su mogle biti prisutne pri merenjima na 38 MHz, autor u slučaju oblasti minimalnog indeksa ne vidi nikakvog razloga za sumnju. Industrijske smetnje na 38 MHz bi dale tačno suprotan efekat: povećanje, a ne sniženje indeksa ispod prosečnog. Jonosferska apsorpcija za taj deo je manja od 5%, pa se može zanemariti. Analiza tačnosti ovih oblasti je izložena tako detaljno zato što se kasnije pokazalo (5.6.) da su presudni za interpretaciju karte spektralnog indeksa.

Oblast opisana u tački 4. je takodje van sumnje. Emisioni plato koji se odvaja od severnog Polarnog Luka se može videti na svakom pregledu neba dovoljne osetljivosti (e.g. Berkhuijsen 1971). Za očekivati je da njegov spektralni indeks bude nešto drugačiji od okoline. U tom delu se i pravac polarizacije radio-zračenja naglo menja (Spoelsta 1971).

Nikakva korelacija između oblika na karti spektralnih indeksa i Petlje IV, koja leži u tom delu neba, nije nadjena.

5.5.3 Karakteristike oblasti galaktičkog anticentra

U oblasti galaktičkog anticentra ($90^\circ < l < 270^\circ$) varijacije spektralnog indeksa su veoma male i leže u granicama

$2,44 < \beta < 2,56$. Veće vrednosti od $\beta = 2,56$ mogu se zapaziti samo u oblasti severnog galaktičkog pola ($b > 60^\circ$) i na donjem rubu karte ($\delta < -5^\circ$). Vrednosti na niskim deklinacijama se moraju smatrati manje tačnim jer su posmatranja blizu horizonta uvek podložna većem uticaju teško otklonjivih instrumentalnih i posmatračkih efekata. Oblast minimuma zračenja i pola razmatraćemo posebno podrobnije.

Pošto je ovo prva podrobnija karta spektralnih indeksa oblasti anticentra, poseban oprez je morao biti uloženo pri identifikaciji pojedinih objekata. Sledeća poistovećivanja sa poznatim optičkim ili radio-izvorima su obavljena:

- 1) Oko $l = 134^\circ$, $b = 0^\circ$, na karti spektralnih indeksa između 404 MHz i 38 MHz vidi se oblast veoma niskog spektralnog indeksa $\beta = 2,44$ koja se proteže sve do $l = 145^\circ$, $b = 0^\circ$. Ta oblast po položaju odgovara oblastima intenzivne apsorpcije koje je Kasvel (Caswell 1976) našao u svom pregledu načinjenom na 10 MHz, na $l = 134^\circ,5$, $b = +1^\circ$; $l = 137^\circ$, $b = +1^\circ$ i $l = 140^\circ,5$, $b = +1^\circ,5$. Sve te tri oblasti se, s obzirom na širinu snopa, moraju na karti spektralnih indeksa biti slivene u jedan objekat. One su poznate kao optički svetli oblaci jonizovanog vodonika, velikih ugaonih dimenzija. Iako je oblak na $l = 140^\circ,5$, $b = 0^\circ$ u optičkom području slabog sjaja, on na 10 MHz, pa čak kako ovaj pregled pokazuje i na 38 MHz, daje znatnu apsorpciju. Poznat je kao S 202. Prva dva oblaka prema Kasvelu (Caswell 1976) nalaze se u Persejevom spiralnom kraku i to sa strane bliže nama. Oni su inače poznati kao IC 1805, IC 1848.

2) Velika oblast niskog spektralnog indeksa oko galaktičkog ekvatora, koja se na karti spektralnih indeksa β (38, 404) vidi na $120^\circ < l < 150^\circ$, verovatno potiče zbog apsorpcije u jonizovanom vodoniku koji je suviše slab da bi bio zasada zapažen u optičkim pregledima neba. Normalno je, međjutim, očekivati ga skoncentrisanog oko galaktičke ravni. Slabi izvori S 205 i S 216, zapaženi kao apsorpcione oblasti na 10 MHz učestvuju verovatno u tom opštem slivenom polju niskog spektralnog indeksa β (38, 404).

Izduženje te oblasti niskog spektralnog indeksa duž paralela $b = 60^\circ$ odgovara oblasti slabog radio-zračenja na 10 MHz, za $\delta = 59^\circ$, $4^h < \alpha < 5^h,5$. U tom delu neba se nalazi S 210 ($l = 152^\circ,5$, $b = 3^\circ,0$) koji na 10 MHz daje znatnu apsorpciju kao H II oblak iako je optički slabog sjaja. Veoma blizu te oblasti slabog radio-zračenja pomaljaju se dva važna luka Petlje III obeležena u radu Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1971) kao luk a i b. Pošto su posmatranja na 38 MHz oko $\alpha = 6^h$, $\delta = 60^\circ$, bila proredjenija nego inače, to je moguće da je to uzrok slabe izraženosti Petlje III, a što je moralo dovesti do smanjenja spektralnog indeksa. Prema tome, zaključak je da je izduženje oblasti niskog spektralnog indeksa ($2,44 < \beta < 2,47$) između 4^h i $5^h,5$ rektascenzije duž paralela $\delta = 59^\circ$ realna jer je nadjena i na pregledu od 10 MHz. Međjutim, dalji nastavak do $\alpha = 6^h 20^m$ može biti artefact.

3) Oblast veoma niskog spektralnog indeksa ($2,41 < \beta < 2,47$) sa minimumom na $l = 166^\circ$, $b = -26^\circ$, na karti spektralnih indeksa između 408 MHz i 38 MHz, odgovara oblasti slabog

radio-zračenja između luka na $l = 185^\circ$ i dela Luka Kita oko $l = 150^\circ$. Na karti spektralnih indeksa između 404 MHz i 38 MHz takva raspodela se ne vidi zato što je na pregledu neba na 404 MHz zbog nedovoljno gusto raspoređenih uzoraka taj deo neba netačno kartiran. Tako je, na primer, ostao potpuno neprimećen i neucrtan upadljivi radio-luk na $l = 185^\circ$, $b < 0^\circ$, u pregledu na 404 MHz.

Ta oblast niskog spektralnog indeksa se delom poklapa sa minimumom u raspodeli neutralnog vodonika koji su Hejles i Dženkins (Heiles and Jenkins 1975) nazvali "rupom u Perseju". Taj minimum je približno kružnog oblika sa središtem na $l = 166^\circ$, $b = -18^\circ$. Duboki minimum na 820 MHz na tom delu neba zapazila je još Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971), koja je istakla da se on zapaža kao minimum i na najnižim učestanostima i u raspodeli H I.

Ova "rupa u Perseju" leži u oblasti slabog radio-zračenja na 10 MHz, ali se ne poklapa sa minimumom tog dela karte neba na 10 MHz. Najslabije zračenje na niskim učestanostima je tu nadjeno na $l = 160^\circ,5$, $b = -12^\circ,5$ i prouzrokovano je apsorpcijom zračenja u oblaku jonizovanog vodonika poznatog kao NGC 1499 (California nebula), kako su zapazili Endrju (Andrew 1969) na 13,1 MHz i Kasvel (Caswell 1976) na 10 MHz.

Na pregledu neba na 38 MHz iz ove teze, u pravcu NGC 1499 se ne može zapaziti izrazita apsorpcija; slab minimum zračenja se zapana na $\alpha = 3^h 58^m$, $\delta = 36^\circ$ na pregledu visoke razdvojne moći na 38 MHz Vilijemsa i dr. (Williams et al. 1966). Iz tog pregleda se dobija, uzimajući za srednju okolnu temperaturu 10 000 K, za dubinu apsorpcije u toj oblasti oko 1500 K. Stoga

je razumljivo da se takav pad od 10% utapa u snopu širokom $7^{\circ},7$. California nebula ispunjava samo mali deo glavnog lista dijagrama antene i zato ima slab uticaj.

Minimum zračenja u ovom pregledu neba na 38 MHz nalazi se oko 7° južnije od središta "rupe u Perseju" na $l = 166^{\circ}$, $b = -25^{\circ}$. Na pregledu visoke razdvojne moći (Williams et al. 1966) središte je teško odrediti zbog razudjene strukture. Međutim, vidi se da oko pravca $(l, b) = (167^{\circ}, -22^{\circ})$ postoji znatno smanjenje radio-fluksa.

Konvoluirani pregled neba na 408 MHz (Haslam 1975) ima minimum zračenja u toj oblasti neba u pravcu $(l, b) = (166^{\circ}, -21^{\circ})$. Nekonvoluirani pregled na 408 MHz (Haslam et al. 1970) ima minimum oko $(l, b) = (167^{\circ}, -20^{\circ})$ što se odlično slaže sa rezultatima Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971) i Hejlesa i Dženkinsa (Heiles and Jenkins 1976), s obzirom na nepreciznost određivanja središta jedne složene hladne oblasti, čiji oblik nije savršeno pravilan. Ovo poredjenje ujedno pokazuje red veličine pomeranja do koga izvršena konvolucija dovodi.

Uzimajući sve to u obzir zaključak je da je oblast niskog spektralnog indeksa oko $l = 166^{\circ}$, $b = -26^{\circ}$ najverovatnije povezana sa oblašću minimuma zračenja. Odsustvo potpune podudarnosti položaja je najverovatnije uzrokovano greškama merenja na 38 MHz. Da bi bilo uzrokovano astronomskim razlozima, morala bi u oblasti $l = 166^{\circ}$, $b = -26^{\circ}$ na 38 MHz postojati snažna apsorpcija uzrokovana nekim veoma neprozirnim oblakom H II. Pošto takvog objekta nema na 10 MHz gde bi apsorpcija bila još veća, taj uzrok otpada. Povećano zračenje na 408 MHz takodje ne može biti

uzrok jer nije zapaženo na 820 MHz. Pri ovakvom rasudjivanju uzimamo ustvari kao pretpostavku da je funkcija zračenja od učestanosti neprekidna monotona funkcija u posmatranim intervalima učestanosti, što je najverovatnije očekivati, s obzirom na karakter zračenja.

S obzirom na razdvojnju moć od $7^{\circ},7$ neizbežni šum na svim pomenutim pregledima koji naročito dolazi do izražaja u manje sjajnim oblastima, potpuno podudaranje položaja je verovatno preterano očekivati.

4) Na $l = 172^{\circ},5$, $b = -1^{\circ},5$ gde su Kasvel (Caswell 1976) i Endrju (Andrew 1969) zapazili podudaranje oblasti intenzivne apsorpcije sa brojnim maglinama, spektralni indeks ima srazmerno nisku vrednost. Taj deo neba na karti spektralnih indeksa $\beta(38, 408)$ bi se mogao interpretirati kao okruglasta oblast niskog spektralnog indeksa ($2,47 < \alpha < 2,50$) koja se doduše sa leve strane spaja sa veoma velikom oblašću takvog istog spektralnog indeksa, a veoma nepravilnog oblika. Na karti spektralnog indeksa $\beta(38, 404)$ takva mala oblast nije uočljiva najverovatnije zbog nedovoljno čestog uzimanja uzoraka pri posmatranju na 404 MHz. Zbog toga su neki detalji odsutni na 404 MHz što može izazvati gubitak realnih, a nastanak nerealnih objekata na karti spektralnih indeksa $\beta(38, 404)$. Takav nerealni objekat je možda oblast nešto povišenog spektralnog indeksa ($2,50 < \alpha < 2,53$) na karti $\beta(38, 404)$, sa središtem na $(l, b) = (172^{\circ}, 7^{\circ})$.

5) Mala okrugla oblast sa središtem $(l, b) = (188^{\circ}, -38^{\circ})$, gde je $\beta(38, 408)$ nešto manje od 2,47, mogla bi biti povezana sa optički zapaženom maglinom koja se možda

proteže do Barnardovog luka. Tu maglinu je Kasvel (Caswell 1976) poistovetio sa oblašću povećane apsorpcije na 10 MHz, čije su koordinate $\alpha \approx 4^h$, $-5^\circ < \delta < 8^\circ$. Slična oblast, nešto drugačijeg položaja, vidi se na 38 MHz (slika 24) i možda je ona jednim svojim delom zaslužna za posmatrani pad spektralnog indeksa. Mudro bi, međutim, bilo na tom poistovećenju sa oblašću koju je Kasvel (Caswell 1976) kartirao ne nastojati, jer je oblast sniženog spektralnog indeksa veoma mala, manja od snopa na 38 MHz.

- 6) Oblast niskog spektralnog indeksa ($2,41 < \beta < 2,44$) oko $l = 198^\circ$, $b = -12^\circ$ dobro se slaže po položaju sa emisionom difuznom maglinom λ Ori. Na 10 MHz, kako je zapazio Kasvel (Caswell 1976), λ Ori uzrokuje veoma duboku apsorpciju. Na 38 MHz, (slika 24) ta maglina se ne vidi jasno zbog širokog snopa i uticaja galaktičkog diska. Međutim, ona svojom apsorpcijom smanjuje opšti intenzitet zračenja, tako da se njeno prisustvo jasno zapaža na karti spektralnih indeksa $\beta(38, 408)$.
- 7) Oblast niskog spektralnog indeksa $\beta(38, 408)$ koja se nadovezuje na oblast λ Ori, sa minimumom na oko $(l, b) = (205^\circ, -29^\circ)$ i $(l, b) = (209^\circ, -18^\circ)$ verovatno je povezana sa ogromnom oblašću pojačanog zračenja na H_α koja obuhvata i Barnardov luk. Ta oblast se vidi na snimcima visoke osetljivosti koje je načinio Sivan (Sivan 1974). Te snimke je koristio Kasvel (Caswell 1976) pri poistovečivanju oblasti intenzivne apsorpcije na 10 MHz oko pravca $(l, b) =$

(208° , -20°). Ta ogromna maglina izgleda da obuhvata sve poznate pojedinačne oblake jonizovanog vodonika u Orionu.

Uticaji te magline vide se na karti β (38, 404), iako manje jasno.

Na karti neba na 38 MHz, približno u toj oblasti, na oko $l \approx 205^{\circ}$, $b < 0^{\circ}$, vidi se objekat tipa luka. Poređenje sa kartom spektralnih indeksa pokazuje da je to upravo oblast izmedju minimuma identifikovanog sa λ Ori i onog na (209° , -18°). Moguće je da taj objekat i nije luk, već oblast izmedju dve apsorpcijom oslabljene zone.

Prema Sivanu (Sivan 1974), zapadni deo Barnardovog luka izgleda da se nadovezuje na vlaknastu H_{α} maglinu u Kitu ($l = 200^{\circ}$, $b = -40^{\circ}$) sistemom veoma bledih vlakana. Taj deo neba ima srazmerno nizak spektralni indeks β (38, 408), mada ne tako izrazit da bi se moglo tvrditi da postoji korelacija medju oblastima niskog spektralnog indeksa i maglina koje se protežu prema Cetus maglini. Sem toga u oblasti $3^h < \alpha < 5^h$, $\delta \approx 0^{\circ}$ posmatrački materijal na 38 MHz nije takvog kvaliteta da bi se korelacija sa pouzdanošću mogla utvrditi.

- 8) Oblasti niskog spektralnog indeksa na severnim galaktičkim latitudama oko $l = 195^{\circ}$ i $l = 235^{\circ}$ se mogu povezati sa tzv. "hladnim rupama", mada se njihovi položaji ne podudaraju idealno. Ta razlika se zapaža i kada se uporedi položaj hladnih rupa na kartama iste razdvojne moći na 408 MHz i 38 MHz. Sigurno je da jedan deo ovako niskog spektralnog indeksa potiče od nepodudarnosti pregleda, mada je opšti utisak da deo niskog spektralnog indeksa pripada rupama.

9) Položaj pojedinih lukova, kao što je luk u Raku, odnosno Lavu, mogao bi se dovesti u vezu sa povećanjem spektralnog indeksa na tim mestima. Ta dva luka shematski označeni na slici 66. sa VI. Možda se malo povećanje spektralnog indeksa na mestu luka u Biku (označenog na slici 66. sa V) na $l \approx 185^\circ$ može povezati sa ovim lukom. Sličan, ali još slabiji argument bi se mogao navesti i za jedan kraj luka Kita, onaj oko $l \approx 155^\circ$.

5.5.4. Oblast ekvatorijalne polarne kape

Oblast severne ekvatorijalne kape je predstavljena preko slike 69. Iako konture nisu izvlačene zbog premalog broja tačaka, vidi se da polarna kapa, što se indeksa tiče, pripada velikoj oblasti niskog ukupnog spektralnog indeksa koja zahvata skoro celu anticentralnu hemisferu. To je važna činjenica koju treba imati u vidu prilikom interpretacije.

U delu oko $l = 100^\circ$, gde se nalazi jedan kraj Petlje III ($\delta = 70^\circ$, $14^h < \alpha < 18^h$), spektralni indeks je nešto povećan, $\beta(38, 404) \approx 2,52$, u odnosu na druge delove gde je mahom 2,50.

Šteta je što nije posmatrana oblast oko $\delta \approx 70^\circ$, $9^h < \alpha < 14^h$ gde je procep između dva luka Petlje III i gde je temperatura po sjaju niska kao i unutar Petlje I, ali ipak nešto viša no u oblasti hladnih rupa gde je za nekoliko kontura niža.

Buduća posmatranja će pokazati da li je tu indeks nizak kao i u svim rupama. Opšti tok temperatura u susednim oblastima sugeriše da bi to bilo verovatno tako.

5.5.5. Ukupni spektralni indeks hladnih severnih rupa,
severnog galaktičkog pola i severnog
ekvatorskog pola

Ove četiri tačke su posebno iznete iako spadaju u već obradjene oblasti. Razlog za to je njihov značaj kao referentnih tačaka preko kojih se ovaj rad može porediti sa velikim brojem drugih radova koji se odnose na njih, a ostali deo severnog neba ne obuhvataju.

Spektralni indeksi su izvedeni uključujući merenja galaktičkog pola i hladnih oblasti na 10 MHz iz Kasvelovog rada (Caswell 1976). Zbog toga što su temperature na 10 MHz date kao temperature sjaja, vrednosti na 38 MHz su u tim tačkama svedene sa antenskih na temperature sjaja da bi se dobili spektralni indeksi.

Spektralni indeksi su računati u oblasti hladnih rupa kao srednje vrednosti tabularnih tačaka koje se u toj oblasti nalaze (3 u gornjoj, a 4 u donjoj rupi). Tom prilikom se videlo da se mesta najniže temperature na 10 MHz, 38 MHz i 404 MHz ne poklapaju u potpunosti po položaju, ali da se nalaze ipak unutar oblasti niskih temperatura zajedničke za sve tri učestanosti. Jedna od takvih razlika je na primer činjenica da je na 404 MHz donja rupa hladnija od gornje, dok je na 38 MHz, 408 MHz i 10 MHz obrnut slučaj. Razlog za to su po mišljenju autora greške merenja. Slične veličine odstupanja zapažene su i kod identifikacije pojedinih oblasti u drugim delovima karte.

Izračunate vrednosti spektralnih indeksa date su u tablici 6

T a b l i c a 6.

Spektralni indeksi hladnih severnih rupa, severnog galaktičkog pola i severnog nebeskog pola

| Objekat | $\beta(10, 38)$ | $\beta(38, 404)$ | $\beta(38, 408)$ |
|------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Gornja rupa | $2,46 \pm 0,04$ | $2,43 \pm 0,01$ | $2,44 \pm 0,01$ |
| Donja rupa | $2,49 \pm 0,03$ | $2,50 \pm 0,01$ | $2,49 \pm 0,01$ |
| Severni galaktički pol | $2,51 \pm 0,05$ | $2,56 \pm 0,05$ | $2,53 \pm 0,05$ |
| Severni nebeski pol | - | $2,51 \pm 0,04$ | $2,52 \pm 0,04$ |

U onoj meri u kojoj se mogu vršiti poredjenja ovih rezultata sa drugima, s obzirom na razlike u opsegu učestanosti, može se reći da je slaganje sa najboljim dosadašnjim rezultatima dobro i da je to potvrda više vrednosti rezultata ove teze. Kao primer navodimo Brajdlov rezultat za severni galaktički pol između 13,15 MHz i 404 MHz $\beta = 2,55 \pm 0,04$ (Bridle 1967), koji se odlično slaže sa $\beta(38, 404) = 2,56 \pm 0,05$.

5.5.6. Poredjenje rezultata sa prethodnim istraživanjima raspodele spektralnih indeksa i njihova analiza

5.5.6.1. Uvod

Neke od navedenih osobina su uočene prilikom malobrojnih prethodnih istraživanja raspodele spektralnih indeksa po nebu. Iako neposredna poređenja rezultata ove teze sa drugim postojećim rezultatima ne bi bila ispravna s obzirom da se razlikuju ili po razdvojnoj moći ili po opsegu učestano-
sti, pa čak i vrsti spektralnog parametra, ipak izvesni zaključci se smeju i mogu doneti. Poređenja se mogu vršiti samo u pojedinačnim oblastima jer nijedno od dosadašnjih istraživanja ne obuhvata tako veliki deo neba kao ova teza. Pri sravnjivanju diferencijalni spektralni indeksi iz drugih radova se najpribližnije mogu porediti sa ukupnim spektralnim indeksima iz ove teze koji su dobijeni po odbitku reliktnog i vangalaktičkog zračenja. Poređenje mora uključivati i makar približnu ocenu uticaja razlike u razdvojnoj moći u odsustvu pune konvolucije koju je teško, a nekada i nemoguće pravilno izvršiti.

Na ovom mestu je bitno poredjenje samo sa onim radovima koji sadrže podatke o raspodeli spektralnih indeksa na delu neba vidljivom sa severnih geografskih širina. Mnogobrojni radovi koji se odnose na merenje samo nekih pojedinačnih tačaka, od kojih je najčešći severni galaktički pol, od znatno manjeg su značaja za ovo istraživanje. Zbog toga će u ovom poglavlju biti dat osvrt samo na ona posmatranja koja se odnose na raspodelu spektralnih indeksa i to bilo ukupnih ili diferencijalnih.

Diferencijalni spektralni indeksi lukova i petlji su posebno obradjeni u šestoj glavi.

O tome da su varijacije spektralnog indeksa na visokim latitudama male, govori u suštini svaki pregled neba, jer je u ogromnom delu radio-područja radio-nebo slično.

5.5.6.2. Poređenje sa prvim radovima o spektralnim indeksima

Već u prvim radovima sa proporcionalnim antenama nadjeno je da nema značajnijih varijacija spektralnog indeksa sa koordinatama. Jedini izuzetak je bila oblast niskog indeksa oko galaktičke ravni, u centralnoj hemisferi.

Poštu su Edži i Smit (Adgie and Smith 1956) i Kostejn (Costain 1960) posmatrali samo duž nekoliko dnevnih paralela, sa antenama veoma širokih dijagrama ($25^{\circ} \times 70^{\circ}$ i $15^{\circ} \times 40^{\circ}$, respektivno, po azimutu i visini), oni nisu mogli zapaziti varijacije za koje je u ovoj tezi pokazano da su slabe i da su po uglovnoj veličini ispod 0,2 sr. Područje koje su oni koristili je bilo između 38 MHz i 178 MHz. U oba rada se zapaža malo povećanje indeksa u oblasti $\delta = 20^{\circ}$, $12^h \leq \alpha \leq 16^h,5$. Po veličini ono je znatno manje no pad oko galaktičke ravni.

Zaključak ovog poređenja bi bio da i ovi radovi i ova teza pokazuju: malu opštu varijaciju spektralnog indeksa, niske vrednosti oko galaktičke ravni i srazmerno visoke vrednosti severno od grebena Severnog Polarnog Luka.

5.5.6.3. Kritička analiza rada Tertla sa saradnicima (1962)

U radu Tertla i drugih (Turtle et al. 1962) pokazano je da oblast "haloa" ($10^h \leq \alpha \leq 17^h$, $20^{\circ} \leq \delta \leq 60^{\circ}$) i oblast "anticentra" ($3^h \leq \alpha \leq 10^h$, $20^{\circ} \leq \delta \leq 60^{\circ}$) imaju različite a

zakrivljene spektre. Ovde nije bitno što su oni koristili nazive koje ne bi trebalo upotrebljavati za te oblasti. Prema rečima Tertla i drugih (Turtle et al. 1962), unutar svake od tih oblasti nisu nadjene tačke znatno drukčijeg spektralnog indeksa. Prema njihovim merenjima sa proporcionalnim antenama na 26 MHz, 33 MHz i 178 MHz i podacima na 404 MHz koje su oni sveli na istu razdvojnu moć od 15° (α) x 44° (δ), spektar "haloa" je zakrivljeniji i ima maksimum oko 40 MHz. Sa slika iz njihovog rada se vidi da bi β (38, 404) u oblasti "haloa" bio veći no u "anticentru".

Rezultati ove teze ne mogu reći o tome gde je spektar između 38 MHz i 404 MHz zakrivljen. Oni samo nedvosmisleno pokazuju da je spektralni indeks oblasti nazvane "halo" veći od indeksa "anticentra" i da unutar tih oblasti spektralni indeks varira.

Radi razrešenja neslaganja po pitanju varijacija, izračunati su iz podataka u radu Tertla i drugih (Turtle et al. 1962) diferencijalni spektralni indeksi između 404 MHz i 38 MHz za obe oblasti, kako za svaku korišćenu deklinaciju, tako i za sve deklinacije skupa (tablica 7).

T a b l i c a 7.

Diferencijalni spektralni indeksi između 38 MHz i 404 MHz izračunati iz posmatranja Tertla i drugih

| δ | 20° | 40° | 60° | $20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ |
|--------------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| β anticentra | 2,63 | 2,61 | 2,60 | 2,61 |
| β haloa | 2,64 | 2,63 | 2,61 | 2,65 |

Razmak uzoraka od 20° u deklinaciji pruža mogućnost da vidimo da je u radu Tertla i dr. (1962) bilo materijala koji je pokazivao opadanje diferencijalnog spektralnog indeksa sa rastućom deklinacijom. Ovde izvedene vrednosti (tablica 7) pokazuju da je diferencijalni spektralni indeks oblasti "haloa" između 38 MHz i 404 MHz veći no spektralni indeks oblasti "anticeutra" za iznos veći od greške.

Uzimajući u obzir širinu dijagrama možemo reći da podaci Tertla sa saradnicima i podaci iz ove teze vode istim kvalitativnim zaključcima.

Brojne vrednosti u oblasti "anticeutra" su za oko 0,1 veće od vrednosti koje bi sledile iz rezultata ove teze posle približno obračunate konvolucije. Razlika u brojnim vrednostima u oblasti "haloa" je skoro isto tolika. Poređenje je vršeno sa kartom spektralnih indeksa dobijenih pošto je oduzeto reliktno i vangalaktičko zračenje.

Merenja Tertla i dr. (Turtle et al. 1962) je nanovo kalibrisao Perton (Purton 1966a). On je našao da antenske temperature T_A na 38 MHz iz rada Tertla i dr. (Turtle et al. 1962) treba popraviti pomoću sledeće veze

$$T_A (\text{cor}) = T_A \times 0,87 + T_0 \times 0,13$$

gde je T_0 temperatura okoline.

Ova popravka dovodi do takvog smanjenja antenskih temperatura na 38 MHz iz rada Tertla i dr., koje daje sniženje diferencijalnih spektralnih indeksa iz tablice za oko 0,14. Ta popravka donosi izvanredno slaganje sa rezultatima iznetim u ovoj tezi i služi time kao dokaz više u prilog i ove teze i Pertonovog rada.

Perton je našao da rekalkibracija i nova merenja na

niskim učestanostima pokazuju da je spektar zakrivljen ali kako su Tertl i dr. našli. Zakrivljenost je mnogo blaža, maksimuma nema, i najveće zakrivljenje se zapaža oko 200 MHz. Rezultati ove teze ne mogu dati presudan zaključak o mestu zakrivljenja spektra. Jedino sličnost spektralnih indeksa u raznim opsezima govori da je zakrivljenost mala.

U opsegu 38 - 404 MHz rezultati Pertona za spektralni indeks su u odličnom slaganju sa rezultatima izloženim u ovoj tezi. Prema Pertonu $\beta(38, 404) = 2,57 \pm 0,05$ za "haloo" gde on pod haloom podrazumeva oblast $10^h < \alpha < 17^h$ za $\delta = 40^\circ$ $\delta = 60^\circ$ a na $\delta = 20^\circ$ samo $10^h < \alpha < 12^h 30^m$. Prema ovoj tezi, za tu oblast spektralni indeks dobijen po odbitku reliktnne temperature i vangalaktičke komponente, uzimajući u obzir približan efekat konvolucije prema Pertonovom dijagramu ($15^\circ(\alpha) \times 50^\circ(\delta)$) je oko 2,59. Prema Pertonu $\beta(38, 404) = 2,55 \pm 0,05$ za oblast anticentra, dok rezultati ove teze odgovaraju spektralnom indeksu od oko 2,50.

5.5.6.4. Poredjenje sa radom Morana (Moran 1964)

Moran je na osnovu popraavljenih temperatura u opsegu od 85,5 MHz do 1390 MHz izvršio istraživanja raspodele spektralnog indeksa u oblasti $45^\circ > l > 353^\circ$ i $-6^\circ < b < 6^\circ$. Rezultate nije objavio i mogu se naći samo u njegovoj doktorskoj tezi podnetoj Mančesterskom Univerzitetu. Razdvojna moć njegove karte je bila $1^\circ,4$ i $0^\circ,8$. Moran je našao da:

1) Spektralni indeks ima manje vrednosti oko galaktičkog ekvatora no na višim latitudama.

2) Spektralni indeks se sa opadanjem latitute povećava

- čak i u oblastima gde raniji radovi ne pokazuju H II.
- 3) Spektralni indeks u oblasti značajnih emisionih maglina je blizak teorijskoj vrednosti za toplotni izvor.
 - 4) Neki dobro poznati radio-izvori čije zračenje nije toplotno ne vide se na karti.
 - 5) Manja asimetrija u odnosu na galaktički ekvator postoji tako da je spektralni indeks u proseku veći za negativne latitute.

Neosnovano je neposredno porediti brojne vrednosti spektralnog indeksa iz Moranovog rada i ove teze. Međutim, ipak se može reći da pojedini rezultati se slažu. Tako, slaganje postoji u Moranovom prvom i poslednjem rezultatu i donekle, posredno, u smislu trećeg Moranovog zaključka.

Oblasti najnižeg spektralnog indeksa na Moranovoj karti leže van ivice karte neba na 408 MHz, izuzev one na $l = 31^{\circ}$, $b = 0^{\circ}$ do $l = 22^{\circ}$, $b = 0^{\circ}$. Verovatno je ta oblast obuhvaćena u delu oko galaktičkog ekvatora na spektralnoj karti $\beta(38,408)$ koja ima veoma nisku vrednost spektralnog indeksa.

Moran je izveo istraživanje i u opsegu između 19,7 MHz i 1390 MHz primenivši nešto drukčiji postupak. S obzirom da je on u tom opsegu tražio varijacije netermičke komponente ti njegovi rezultati se ne mogu kvantitativno uporediti sa rezultatima ove teze.

Sem toga treba imati u vidu da su pregledi koji su korišćeni za određivanje spektra u centralnom kvadrantu raznorodni i da čak i obavljene rekalkibracije ne mogu da ih podignu na isti nivo tačnosti sa specijalno za tu svrhu isvedenim

merenjima. Sem toga mnogi od tih pregleda su kasnije bili prevaziđeni boljim merenjima (napr. Seeger et al. 1965).

5.5.6.5. Poredjenje sa radom Brajdla (Bridle 1967b)

Važan objavljeni rad u vezi sa spektrom radio-pozadine i njegovim varijacijama po nebu je rad Brajdla (Bridle 1967b). Karta ukupnog spektralnog indeksa β (17,5; 81,5) razdvojne moći 17° (δ) x 12° (λ), koju je Brajdl načinio, obuhvata veći deo neba za $\delta \geq 16^\circ$. Izbegao je oblast oko galaktičke ravni u centralnom kvadrantu zbog male razdvojne moći i velikog uticaja grešaka naperivanja antene u tom delu. Sem toga, on nije obuhvatio većinu negativnih latituda. Pregled je načinjen sa prevelikim intervalom uzoraka od pola časa u rektascenziji i skoro uvek 17° u deklinaciji.

Nalaz je Brajdla da konture na karti ukupnih spektralnih indeksa β (17,5; 81,5) teku skoro uvek uporedo sa linijama konstantnih temperatura na 17,5 MHz. Brajdl je konture vukao izgledjujući sitnije varijacije, želeći verovatno da jasnije istakne osnovne osobine. Brajdlove karte razdvojne moći 53° x 12° na 13,15 MHz, 17,5 MHz i 81,5 MHz su dale, prema njegovim rečima, iste osobine kontura spektralnih indeksa.

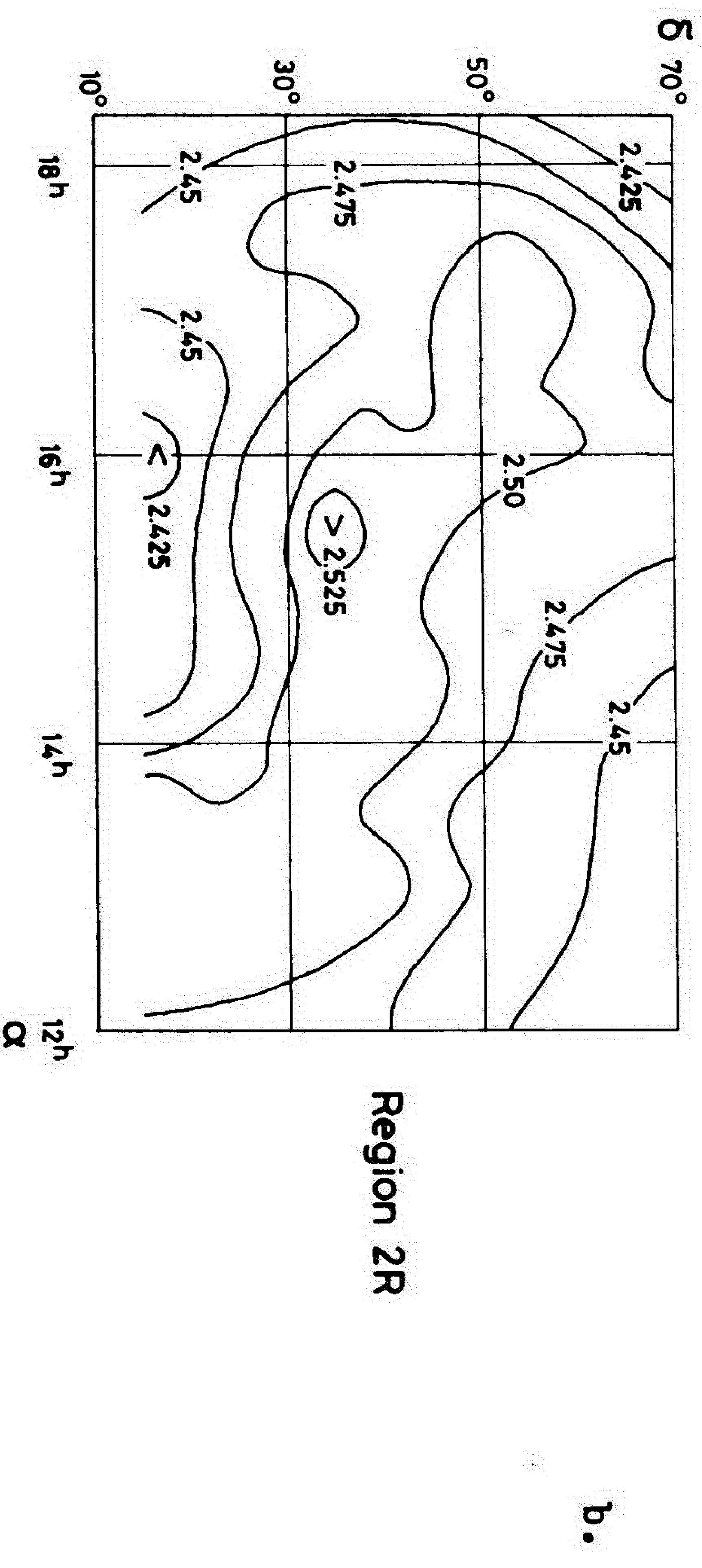
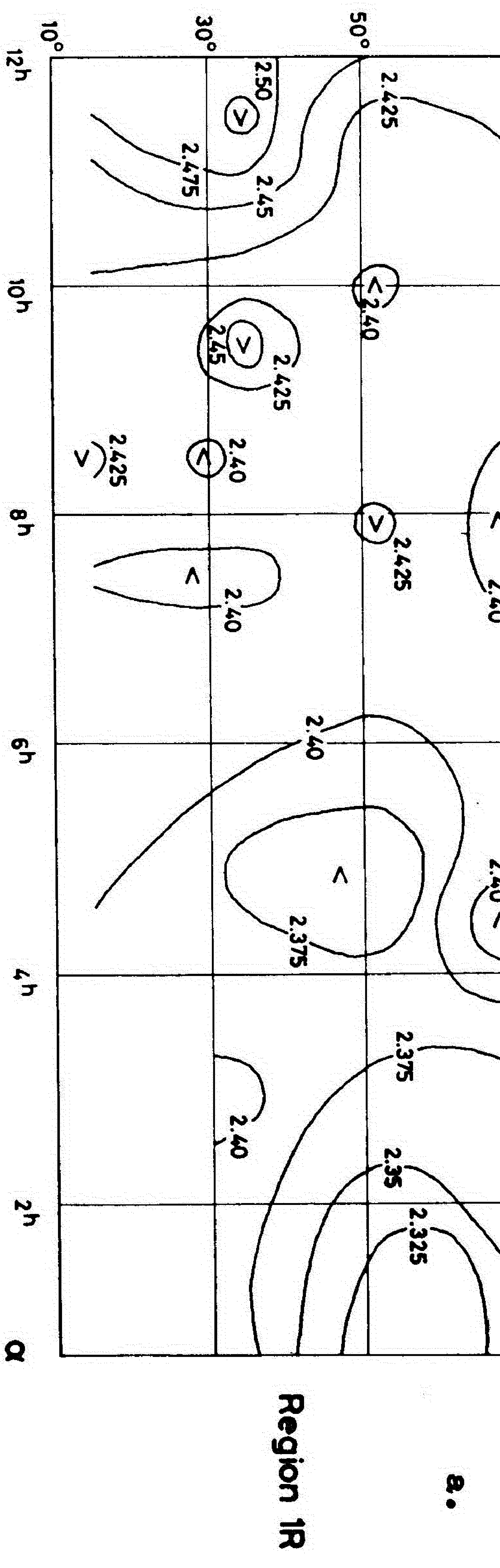
Na sl.70 su date karte spektralnih indeksa β (17,5; 81,5) uradjene za potrebe poredjenja sa kartom β (38, 404) iz ove teze, na osnovu Brajdlovih podataka veće razdvojne moći. Prethodno je od temperatura na 17,5 MHz i 81,5 MHz oduzeta vrednost ekstragalaktičke komponente izračunate prema podacima iz Brajdlovog rada za $\beta_{ex} = 2,75$. Nijedan detalj pri crtanju nije zaobidjen kako bi se poredjenje moglo što lakše i tačnije obaviti. Gornja karta

odgovara približno Brajdlovoj oblasti 1, a donja donekle Brajdlovoj oblasti 2. Veoma je zanimljivo da ove neizgladjene karte veoma liče na karte spektralnih indeksa β (38, 404); znatno više nego originalne Brajdlove karte. Na njima se jasno vidi oblast niskog spektralnog indeksa oko galaktičkog ekvatora na $\alpha = 1^h$, $\delta = 60^\circ$, visokog spektralnog indeksa severno od Severnog Polarnog Luka, niskog spektralnog indeksa unutar Severnog Polarnog Luka i u blizini galaktičke ravni za $\alpha = 18^h$. Slaganje u tim oblastima ubedljivo govori o njihovoj realnosti. Brojne vrednosti spektralnih indeksa iz ove teze se takodje dobro slažu sa Brajdlovim skoro svuda. Potpunu podudarnost ne možemo ni očekivati jer se ne radi o istom području učestanosti niti o istoj razdvojnoj moći.

Dobro slaganje govori o tome da promene kako po koordinatama tako i po učestanosti u posmatranom području nisu velike. Sem toga to je i posredan dokaz da je tačnost i jednih i drugih posmatranja visoka.

Oblast u kojoj se rezultati ove teze i Brajdlovog rada bitno razlikuju jeste oblast visokog spektralnog indeksa na $\alpha = 9^h,5$, $\delta = 35^\circ$, gde je pozadinsko zračenje veoma slabo. Ubedljiva na originalnoj Brajdlovoj karti, ova oblast izgleda mnogo manje značajna na karti sa slike 70a. Već sama ta činjenica baca sumnju na značaj koji joj je Brajdl pripisao. Zato je autor ove teze krenuo u detaljnu analizu Brajdlovog rezultata u toj oblasti i rezultata drugih autora, a što je izloženo u ovom i sledećem odeljku.

Pre svega izračunati su količnici temperatura sjaja na sve tri učestanosti i sa obe razdvojne moći u intervalu $8^h \leq \alpha \leq 11^h$, za $\delta = 35^\circ$, prema tablicama koje je objavio



Slika 70. Preračunata karta ukupnih spektralnih indeksa β (17,5;81,5) iz podataka Brajda (Bridle 1967).

sam Brajdl. Pokazalo se da svi oni izuzev T(17,5)/T (81,5) pokazuju minimum na $\alpha = 9^h,5$, $\delta = 35^\circ$. Tačnije rečeno T(13,15)/T (81,5) pokazuje minimum na $\alpha = 10^h$, $\delta = 35^\circ$. Greške merenja su u toj oblasti tolike da mogu uzrokovati pomeranje za jednu tabularnu tačku. Najprostije tumačenje velike razlike između ponašanja T(17,5)/T (81,5) i svih ostalih količnika jeste slučajan raspored grešaka u Brajdlovim podacima.

Količnici temperatura na 26,3 MHz (Turtle et al. 1962) i temperatura na 81,5 MHz, koje je izmerio Purton (Purton 1966a), pokazuju da na $\delta = 40^\circ$ minimum leži na $\alpha = 9^h$ i da nikakvog maksimuma u oblasti hladnih rupa nema. Pošto je tu jedna od učestanosti ista kao i kod Brajdla, ovaj nalaz treba uzeti veoma ozbiljno.

I Webster je u svom radu u obliku haloa (Webster 1978) našao da upravo $\alpha = 10^h$, na $\delta = 35^\circ$ i $\delta = 52^\circ$ tačke izvedene iz Brajdlovih merenja leže znatno ispod teorijske krive $T'_h(\alpha)$.

Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971) je našla da je β (240,820) u oblasti minimuma, tzv. rupe na $l = 190^\circ$, $b = 50^\circ$ manji no u severnom nebeskom polu, što takođe protivureči Brajdlovom nalazu. Isti odnos je zapažen i za β (38, 404).

Manje značajno neslaganje je uočeno u oblasti oko $\alpha = 5^h$, $\delta = 40^\circ$. Tu Brajdlova karta sadrži plitak minimum, dok na karti β (38, 404) spektralni indeks ima vrednost blisku prosečnoj, sa ostrvom nešto većeg indeksa u blizini. Ta zona potiče od manjeg luka koji postoji na karti na 38 MHz, ali ne i na 404 MHz. Najprostije tumačenje ovog razilaženja je pretpostavka da su temperature na 38 MHz previsoke zbog grešaka merenja.

5.5.6.6. Poredjenje sa rezultatima Sironija i Vebstera

Produžetak serije merenja sa proporcionalnim antenama čine radovi Sironija (Sironi 1974) i Vebstera (Webster 1974). Sironi je radio sa ugaonim antenama razdvojne moći $17^{\circ} \times 12^{\circ}$, a Webster sa hornovima razdvojne moći $15^{\circ} \times 15^{\circ}$, mereći na 151,5 MHz i 408 MHz odnosno 408 MHz, 610 MHz i 1407 MHz.

Sironi je odredio diferencijalni spektralni indeks oblasti A, severno od galaktičkog anticentra, oblasti B, severno od Severnog Polarnog Luka i oblasti M, oko zone minimalnog radijacije. Diferencijalni spektralni indeksi koje je Sironi izveo iz svojih i Brajdlovih podataka između 17,5 MHz i 408 MHz, jesu: $\beta_A = 2,42$, $\beta_B = 2,58$, i $\beta_M = 2,59$.

Prema Sironiju, tzv. oblast minimuma ima skoro pravolinijski spektar tako da bi taj rezultat, što se oblika spektra tiče, mogao da se neposredno poredi sa vrednostima spektralnih indeksa između 38 MHz i 408 MHz dobijenih pošto se oduzme van-galaktička i reliktna komponenta. Međutim, ipak mora da se uzme u obzir razlika u razdvojnim moćima koja je praktično faktor 2. Njeno obračunavanje je srazmerno složeno jer unutar Sironijeve oblasti M ($8^h < \alpha < 14^h$, $16^{\circ} \leq \delta \leq 52^{\circ}$), kao što se vidi sa slike 64 spektralni indeks $\beta(38, 404)$ ide od najvećeg na severnom nebu do jednog od najmanjih. Približna popravka za razliku u razdvojnim moćima dovodi rezultate Sironija i ove teze u oblasti M do slaganja unutar granice grešaka.

S obzirom na tok zakrivljenosti spektra oblasti A i B, diferencijalni spektralni indeks $\beta(17,5; 408)$ će biti manji od diferencijalnog indeksa $\beta(38, 408)$ za svega oko 0,01 kako je za potrebe ove teze izračunato iz Sironijevog spektra.

U obe oblasti A i B, diferencijalni spektralni indeks $\delta(38, 408)$ dobijen iz Sironijevih spektara i spektralni indeks dobijen u ovoj tezi pošto je od temperatura oduzeta reliktna i vangalaktička komponenta, se slažu unutar granice grešaka kada se uzme u obzir približan efekat konvolucije na isti, Sironijev antenski snop.

Medjutim, poredjenje unutar pojedinačnih deklinacija u oblastima A je manje povoljno. Za $\delta = 69^\circ$, u suštini, poredjenje se ne može ni obaviti zbog blizine ivice karte, što onemogućava konvoluciju.

Inače, nesumnjivo sledi i iz ove teze da oko galaktičke ravni vrednosti spektralnih indeksa imaju manje vrednosti no u oblasti severno od Severne Polarne Petlje, koja leži u pravcu gde vizirna linija prolazi izmedju grana.

Sironijev zaključak da je spektar strmiji u oblasti "minimuma radio-zračenja" nego u "pravcu prema lokalnoj spiralnoj grani" nije u suprotnosti sa ovom tezom, jer oblast M nije samo oblast hladnih rupa već mnogo šira.

Zaključci u vezi sa oblašću M ne mogu neposredno pružiti odgovor u vezi uske zone oko $\alpha = 9^h, 5$, $\delta = 35^\circ$, o kojoj smo malo pre govorili.

Za razjašnjavanje tog problema je od koristi sledeća analiza koju je autor ove teze izveo iz Sironijevih merenja na 151,5 MHz i 408 MHz. Držeći se Sironijeve izjave da ima smisla porediti samo temperature unutar iste deklinacije, izabrana je oblast $\delta = 35^\circ$, $8^h < \alpha < 12^h$ za koju su izračunati količnici temperatura na 151,5 MHz kako ih je dao Sironi i temperatura na 408 MHz iz Sironijevog članka popraavljenih za iznos koji navodi Webster (Webster 1978). Uzimajući da ovi količnici nisu dovoljno tačni da bi dali stvarne spektralne indekse, ipak

očekujemo da njihove varijacije oponašaju varijacije spektralnih indeksa. Tok vrednosti pokazuje da količnik ima minimum na $\alpha = 8^h 30^m$ i nikakav maksimum, a pogotovu ne na $\alpha = 9^h,5$. Slič tok ima i β (38, 404), s tim što je u ovoj tezi minimum na $\alpha = 9^h$. Ovakav tok količnika je dobijen i za $T(17,5)/T(151,5)$, $T(17,5)/T(408)$, $T(81,5)/T(151,5)$ i $T(81,5)/T(408)$. Jedin količnik $T(17,5)/T(81,5)$ pokazuje maksimum na $\alpha = 9^h,5$, $\delta =$

Na svim ovim učestanostima minimum temperature leži baš u toj oblasti. Najprostije tumačenje ovakvog toka količnik bilo bi slučajan raspored grešaka u Brajdlovim podacima koji daje upravo takav efekat.

Iz ove analize sledi da je minimum oko $\alpha = 9^h$, $\delta = 3$ na karti ukupnih spektralnih indeksa u ovoj tezi realan.

Isti zaključak se dobija i iz Websterovih podataka (Webster 1974).

Iako se rad Webster (Webster 1974) odnosi na učestanosti 408 MHz, 610 MHz i 1407 MHz, zanimljivo je istaći da je on našao da oblast severno od Severnog Polarnog Luka ima veoma visoku vrednost diferencijalnog spektralnog indeksa. Njegova posmatranja se odnose na $\delta = 40^\circ$ i pokazuju da je spektar između 14^h i 18^h znatno strmiji no između 20^h i 2^h . Webster navodi i merenja Konklina (Conklin 1970), vršena za druge svrhe pokazuju da oblast oko $\alpha = 17^h$, $\delta = 32^\circ$ ima znatno strmiji spektar i između 400 MHz i 8000 MHz. Iako je $\delta = 40^\circ$ daleko od glavnog grebena, Webster smatra u svom radu iz 1974. godine i tezi (Webster 1971) da je strm spektar tog dela uzrokovan Severnim Polarnim Lukom. Kao što je izloženo oblast visokog spektralnog indeksa severno od Luka se pojavljuje čak i na 8000 MHz, što ukazuje na njen značaj.

Vebster je našao da je spektar Luka na $\delta = 16^\circ$, $15^h < \alpha < 17^h$, strmiji no spektar okoline. Razlika u položaju u odnosu na raspodelu $\beta(38, 404)$ potiče verovatno od razlike u razdvojnoj moći.

Vebster je našao da na $\delta = 0^\circ$ spektralni indeks unutar Luka postaje manji no prosečno. To je u skladu sa rezultatima ove teze. Brojne vrednosti koje je dobio Vebster su veće od $\beta(38, 404)$, ali to je očekivano s obzirom da je sam Vebster pokazao da je spektar Luka iznad 408 MHz veoma strm. Tačnije poredjenje je teško sprovesti s obzirom na veliku razliku u razdvojnim moćima.

Srazmerno male vrednosti spektralnog indeksa na $\delta = 65^\circ$, $\alpha = 17^h$ nadjene od strane Vebstera (Webster 1974) i Houela (Howell 1968) su takodje u kvalitativnom skladu sa rezultatima ove teze.

5.5.6.7. Poredjenje sa radom Getmanceva i dr. (1968)

Do saznanja o varijaciji spektralnog indeksa došli su i Getmancev sa saradnicima (1968), u opsegu učestanosti od 6,3 MHz do 40 MHz. Njihov rezultat je da spektralni indeks raste od 2,4 na $b = 20^\circ$ do 2,6 na $b = 60^\circ$ ($13^h < \alpha < 19^h$, $\delta = 56^\circ$). On bi se mogao ovde pokušati protumačiti kao proširenje ka veoma niskim učestanostima nalaza da oblast severno od Luka ima najvišu, a oblast oko galaktičke ravni i Cyg X najnižu vrednost indeksa. Unutar snopa širokog $25^\circ \times 35^\circ$ te dve oblasti bi možda dale efekat kakav su zapazili Getmancev i dr. (1968). Medjutim, strogo poredjenje je nemoguće izvesti. Stoga se ne može sa sigurnošću tvrditi da su rezultati iz ove teze i rezultati Getmanceva i dr. (1968) komplementarni.

5.5.6.8. Poredjenje sa radom Landekera

Veoma je zanimljivo poredjenje sa kartom ukupnih spektralnih indeksa koju je Landeker (Landecker 1969) izneo u svojoj doktorskoj tezi. Ona obuhvata oblast izmedju $+25^{\circ}$ i -25° po deklinaciji i osnova su joj merenja na 85 MHz i 150 MHz sa razdvojnomoći od $3^{\circ},5$. Iako je ovaj opseg učestanosti samo deo opsega 38 MHz - 404 MHz može se očekivati da rezultati bar kvalitativno odgovaraju, s obzirom da je zakrivljenost spektra neba srazmerno blaga kako je poznato (e.g. Sironi 1974). Razlika u razdvojnoj moći takodje ne bi trebalo da bude od presudnog uticaja jer nagli skok u razuđenosti radio-neba nastaje tek ispod 1° . Treba očekivati da su Landekerovi spektralni indeksi manje tačni nego indeksi iz ove teze jer je raspon učestanosti u Landekerovom eksperimentu suviše mali. Sam Landeker je objavio samo veoma kratak članak o svojim istraživanjima (Landecker and Wielebinski 1969) u kome je dat zaključak da spektralni indeks varira, bez opisa raspodele varijacije.

Na niskim galaktičkim širinama ($|b| < 10^{\circ}$, $5^{\circ} < l < 60^{\circ}$) Landeker nalazi veoma niske vrednosti spektralnog indeksa što je u skladu sa rezultatom ove teze. Brojno su Landekerove vrednosti uglavnom za oko 0,1 manje. Širina zone niskog β je oko 20° prema Landekeru, što je blisko vrednosti na karti $\beta(38,404)$ iz ove teze.

Na visokim galaktičkim širinama spektralni indeks je znatno viši no oko galaktičkog ekvatora, kako na Landekerovoj karti, tako i na karti $\beta(38,408)$ koja je data ovde. Vrednosti su na Landekerovoj karti nešto više od vrednosti $\beta(38,404)$, u proseku najviše do 0,1. Mesta na kojima Landeker dobija najveće vrednosti spektralnog indeksa $\beta = 3,0$

($13^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, $+ 15^{\circ}$) i $\beta = 3,1$ ($22^{\text{h}} 15^{\text{m}}$, 0°) nisu maksimumi na karti β (38, 404), ali se nalaze srazmerno blizu oblasti koje na karti β (38, 404) imaju visoke vrednosti. Ako se iskoristi poredjenje izmedju odnosa temperature na 85 MHz i 150 MHz sa onima na 178 MHz koje je sproveo Landeker i uporedi sa spektralnim indeksima β (38, 404) može se posumnjati u realnost Landekerovih ostrva visokog indeksa.

Prema Landekeru indeks na visokim latitudama je $2,65 \pm 0,25$. U okviru tog raspona leže i sve vrednosti β (38, 404).

Zanimljivo je da u oblastima minimuma temperatura Landeker ne dobija najviše vrednosti spektralnog indeksa. Sličan zaključak važi i za kartu β (38, 404). Ovakva osobina hladnih oblasti je, kao što je rečeno u 5.6.6.2., od velikog značaja za tumačenje raspodele. Poželjno je da ona bude što pouzdanije utvrđena.

Landeker je kao nesumnjivu činjenicu istakao da je na samom grebenu Severnog Polarnog Luka spektralni indeks srazmerno nizak $2,4 < \beta < 2,6$, niži no sa obe strane grebena. Landeker je našao da je na grebenu Luka Kita spektralni indeks niži no oko njega.

Ovi nalazi Landekera, izuzev poslednjeg, se slažu sa rezultatima ove teze u opštim crtama.

Isto tako, Landekerov nalaz da je u drugim oblastima slaganje izmedju karte radio-neba i karte spektralnih indeksa neznatno, može da se prihvati i kao opšti zaključak koji sledi i u ovoj tezi.

Landeker je došao do istog zaključka kao i autor ove teze, a to je da je apsorpcija u oblasti anticentra slaba u poredjenju sa centralnim kvadrantom.

Landeker je ukazao da visokoj polarizaciji u oblasti Severnog Polarnog Luka na 408 MHz odgovaraju oblasti visokog spektralnog indeksa, dok depolarizacija odgovara oblasti niskog spektralnog indeksa. Podrobnija analiza karata na osnovu kojih je Landeker taj zaključak izveo pokazuje da je ta korelacija nesigurna. Sam Landeker je nije našao za oblast Luka Kita, pa se stoga ona ne bi smela u ovom trenutku uopštiti. Ukoliko bi ta korelacija važila svuda onda bi to mogao biti argument protiv niskog $\beta(38, 404)$ u oblasti $14^h < \alpha < 15^h$, $-25^\circ < \delta < -5^\circ$, a u korist Landekerovog visokog spektralnog indeksa $\beta(85, 150)$ u toj oblasti. S obzirom da je ta oblast izuzetno važna za interpretaciju karte spektralnih indeksa $\beta(38, 404)$ bilo bi poželjno kada bi se neslaganje u toj oblasti moglo razrešiti. Merenja polarizacije u tom delu su, međjutim, suviše za sada nesigurna.

5.5.6.9. Poredjenje sa radom Vilsona (Wilson 1975)

Rad na raspodeli spektralnih indeksa po nebu jeste teza Vilsona (Wilson 1975) podneta Univerzitetu u Sidneju. On je na osnovu pregleda neba na 408 MHz (Haslam et al. 1974) i na 820 MHz (Berkhuijsen 1972) načinio kartu ukupnog spektralnog indeksa za oblast centralnog kvadranta. Njegovi rezultati se slažu kvalitativno sa rezultatima predhodnih istraživača i sa rezultatima iznetim u ovoj tezi samo u tome što je našao pojas niskog spektralnog indeksa oko galaktičke ravni za $l < 57^\circ$ i male varijacije spektralnog indeksa na visokim galaktičkim širinama. Vilsonov pojas niskog indeksa je širok oko 5° , što

ukazuje da je jonizovani vodonik skoncentrisan u uskom pojasu približno te širine, pošto je razdvojna moć Vilsonove karte spektralnih indeksa izuzetno visoka: oko 1° . Veća širina na Landekerovoj karti i na karti u ovoj tezi bi stoga bila pre odraz male razdvojne moći, no veće širine pojasa jonizovanog vodonika.

Brojne vrednosti je teško uporediti jer je opseg učestanosti drugi i razlika u razdvojnim moćima znatna, mada osnovni zaključak bi bio da razlike nisu neverovatne.

Ono što je, medjutim, upadljivo različito to je relativna raspodela spektralnog indeksa sa visokim galaktičkim širinama. Za razliku od svih drugih autora, uključujući i autora ove teze, Vilson nalazi da je spektralni indeks severno od Severnog Polarnog Luka ($l > l_{\max\text{SPL}}$) manji no unutar Luka. On dolazi do suprotnog zaključka i u pogledu diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka, razlikujući se bitno od zaključka o ponašanju diferencijalnog indeksa koje je izvela Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971) za 820 MHz i 240 MHz. Sama vrednost $\beta = 2,80 \pm 0,05$ nije u protivurečnosti sa drugim rezultatima.

Vilson, takodje dobija da je oblast severno od galaktičkog ekvatora značajno višeg spektralnog indeksa od oblasti južno od galaktičkog ekvatora, što je suprotno rezultatu Landekera i autora ove teze. Ovakav smer asimetrije je možda posledica previše visokog spektralnog indeksa severnog dela Vilsonove karte uopšte.

S obzirom da je u pitanju razmimoilaženje samo jednog autora u odnosu na sve ostale, najverovatnije je da je u pitanju sistematska greška prisutna u Vilsonovom radu.

Kao uzrok, po mišljenju autora ove teze, mora se u

prvom redu uzeti nepoznavanje tačne raspodele bočnih listova dijagrama radio-teleskopa korišćenog na 408 MHz. Uticaj bočnih listova bi se menjao od tačke do tačke i unosio grešku veoma tešku za procenu, ukoliko dijagram usmerenosti teleskopa nije dobro poznat. Iz tog razloga nije ni bilo moguće proceniti ovde moguću sistematsku grešku Vilsonove karte.

5.5.6.10. Poredjenje sa radom Vinjajkina (1978)

Najnoviji objavljeni rad o spektralnim indeksima je rad Vinjajkina (1978), koji je kombinovao svoja posmatranja na 240 MHz sa podacima Sironija (Sironi 1974) na 151,5 MHz i 408 MHz. Vinjajkin je došao do zaključka da oblast 1 ($\delta = 35^\circ$, $10^h < \alpha < 17^h 30^m$) i oblasti 2 ($\delta = 52^\circ$, $11^h 30^m < \alpha < 19^h 30^m$) imaju različite spektre. Pregib u spektru oblasti 1 prema Vinjajkinu se događa oko 240 MHz, dok se pregib spektra oblasti 2 događa oko 408 MHz.

Spektralni indeksi iz ove teze se slažu u granicama greške, mada se potpuno slaganje ne može očekivati zbog razlike u opsegu učestanosti. Razdvojne moći su slične, jer je Vinjajkinova antena bila $6^\circ 34' \times 6^\circ 05'$. I Vinjajkinovi rezultati i rezultati ove teze se slažu u tome da oblast 1 ima viši spektralni indeks od oblasti 2.

5.6. M O G U Ć N O S T I T U M A Ć E N J A
R A S P O D E L E U K U P N I H
S P E K T R A L N I H I N D E K S A

5.6.1. Prilaz problemu raspodele indeksa

S obzirom da je karta ukupnih spektralnih indeksa izložena u ovoj tezi, prva karta te vrste koja pokriva skoro celo severno nebo, autor je imao priliku da prvi potraži mogućnosti šireg tumačenja raspodele. Švi drugi dosadašnji istraživači su imali mnogo manji posmatrački materijal. Koliko god to bila velika prednost ona istovremeno nalaže i obavezu pažljivog i kritičkog prilaza.

Iako je posmatračka osnova dozvoljavala da se izbor mogućnosti tumačenja suzi, autor ove teze je smatrao da je potrebno da ispita ideje svojih prethodnika pre nego što ih odbaci. Suviše su to značajne škole i astronomi da bi se preko njihovih radova olako prešlo. Prihvatanje novog tumačenja možemo ostvariti utoliko pre, ukoliko svestranije i dublje analiziramo do sada važeće ideje.

Oprez je potreban utoliko pre što je južna polovina neba još uvek neispitana u pogledu raspodele spektralnih indeksa.

Iako se autor ove teze opredelio na kraju za jedno rešenje, on je smatrao da je korisno da iznese ovde celokupno svoje istraživanje u vezi s tim pitanjem. Neke ideje i generalizacije bi se mogle pokazati korisne u rešavanju nekih drugih problema, a možda i pri tumačenju nekih slabijih efekata baš u samoj raspodeli spektralnih indeksa.

Analiza mogućnosti je izneta ovde preko tri modela koji se odnose na celo severno nebo s tim što je, naravno, težište stavljeno na ključne oblasti. Oni su ovde nazvani:

- a) model haloa sa superponovanim petljama i diskom,
- b) model petlji,
- c) model zračenja u lokalnom magnetnom polju.

Poslednja dva modela su potpuno novi, dok je u prvom uključen halo prema ideji Webster (Webster 1975, 1978), i kombinovan sa idejama i rezultatima autora ove teze.

5.6.1.1. Ideje prethodnika

Istorijski posmatrano prvi je raspodelu ukupnih spektralnih indeksa, koja je ikakve detalje na visokim latitudama sadržala, dobio i interpretirao Brajdl (Bridle 1967). Po njemu rezultati su bili konzistentni sa interpretacijom da se ukupno pozadinsko zračenje sastoji od komponente sa umereno pljosnatim spektrom, čiji se intenzitet menja po nebu, i izotropne komponente sa strmim spektrom.

Drugi autor koji je dobio raspodelu ukupnih spektralnih indeksa bio je Landeker (Landecker 1969). On se zadovoljio traženjem korelacija sa petljama i polarizacijom i na opštije zahvate nije ni išao, delom zbog sumnje u tačnost podataka, a delom i verovatno što mu tako mali deo neba nije pružao potrebnu podlogu.

U ozbiljniju interpretaciju raspodele spektralnih indeksa nije ulazio ni treći istraživač ukupnih spektralnih indeksa Wilson (Wilson 1965).

Iako se nije bavio raspodelom ukupnih spektralnih

indeksa, Webster je bio taj čiji je rad u protekloj dekadi obuhvatio probleme vezane za spektralne indekse (Webster 1974, 1975, 1978). On je teorijski zasnovao hipotezu po kojoj je galaktički halo ona komponenta koja bitno utiče na rezultate istraživanja spektralnih indeksa. Sam Webster nije prvobitno (Webster 1971, 1974) bio pristalica ideje haloa u onoj meri u kojoj je to postao kasnije (Webster 1975, 1978). Analiza Websterove ideje o halou data je u 5.6.2.

5.6.1.2. Polazni stavovi

Tumačenje karte spektralnih indeksa se u suštini razdvaja na dva problema.

Prvi problem je lako rešiv i odnosi se na oblasti niskog spektralnog indeksa koje se poklapaju po pravcu sa oblastima jonizovanog vodonika. U takvim slučajevima nizak spektralni indeks potiče od velikog udela toplotnog zračenja H II i apsorpcije netoplotnog zračenja drugih izvora od strane H II. Medju takve slučajeve spadaju: oblast oko galaktičkog ekvatora u centralnoj hemisferi, Cyg X i magline o kojima je bilo reči u 5.5.3.

Drugi problem je pravi problem, kome je najveći deo ove teze i posvećen. On se odnosi na raspodelu spektralnih indeksa u celini, izuzimajući oblasti H II. Svaka hipoteza porekla raspodele mora da objasni pojavu visokog spektralnog indeksa u centralnoj hemisferi i niskog spektralnog indeksa u oblasti anticentra. Te dve činjenice su nesumljive kako i sledi iz posmatranja iz ove teze i analize rada prethodnika (5.5.6.). Tokom rada na tumačenju raspodele, autor je došao do saznanja da su i neke druge manje oblasti od bitnog značaja za razumevanje

porekla. O tome će biti posebno rečeno u 5.6.6. Za sada, ići ćemo onim redom kojim se odvijao sam rad, i koji je lakši za razumevanje. Poći ćemo od niskog indeksa u anticentru i visokog u centralnoj hemisferi.

5.6.2. Model haloa sa superponiranim diskom i petljama (halo - disk - petlje)

5.6.2.1. Osnovne osobine modela halo - disk - petlje

Model halo-disk-petlje smišljen je najviše radi tumačenja oblasti visokih latituda centralne hemisfere. U svojoj osnovi on polazi od pretpostavke da se Sunce nalazi ekscentrično u galaktičkom radio-halou visokog spektralnog indeksa i galaktičkom disku niskog spektralnog indeksa, sa Petljom I u Sunčevoj okolini. Ostale petlje, odnosno lukovi su znatno slabiji objekti, čiji se spektralni indeksi obično ne razlikuju drastično od okoline, pa se stoga ne moraju u prvi mah uzeti u razmatranje. Doduše, tu bi se ipak mogli izdvojiti luk u Lavu i luk u Biku, koji možda utiču nešto više na raspodelu spektralnih indeksa svojim osobenim položajem; prvi leži između dve hladne severne rupe, a drugi između rupe u Biku i oblasti Barnardovog luka. Za ovaj model nije važno znati da li se i zračenje diska sastoji od integrisanog zračenja lukova, kao što je to sugerisala Berkhuisenova (Berkhuijsen 1971). Ipak, zanimljivo je istaći da su spektralni indeksi diska i Severnog Polarnog Luka srazmerno bliski jedan drugom, što je izvesna potpora Berkhuisenovoj pretpostavci. Prema tom modelu, oblast visokog spektralnog indeksa u centralnoj

hemisferi na visokim latitudama duguje svoj izgled halou visokog spektralnog indeksa preko koga je superponiran Severni Polarni Luk niskog indeksa. Pošto bi zračenje haloa u anti-centru bilo slabo, to bi zračenje u tom delu poticalo uglavnom od diska sa superponiranim slabim lukovima.

5.6.2.2. Mogućnost interpretacije oblasti grebena

Petlje I i unutar Petlje I

Korelacija između položaja grebena i gradijenta Severnog Polarnog Luka i oblasti nižeg spektralnog indeksa nije sama po sebi dovoljan dokaz da je izvedena raspodela posledica superpozicije zračenja haloa i Petlje I. U ovom odeljku izložena je računaska provera ove pretpostavke i njena kritička analiza.

Pri računanju prvo je uzeto da je temperatura dela neba iza Severnog Polarnog Luka (indeks s) ista kao i u oblasti između grana (indeks i), tj.

$$T(l_s, b_s, f) = T_i(l_s, b_s, f) + T_s(l_s, l_s, f),$$

$$T_i(l_s, b_s, f) = T_i(l_i, b_i, f) = T(l_i, b_i, f),$$

gde je f kao i ranije učestanost po kojoj se posmatralo.

Strogo uzevši zračenje pozadine ne mora biti konstantno unutar raspona od četrdesetak stepeni u longitudi. Medjutim, takva pretpostavka ne mora biti daleko od stvarnosti. U slučaju idealnog sfernog haloa sa slike 47, , razlika u doprinosu haloa na $l = 60^\circ$ i $l = 24^\circ$ iznosi najviše do 20% od najvećeg doprinosa haloa u pravcu središta i to samo na nižim latitudama. Preseci duž konstantnih latituda u oblasti

Severnog Polarnog Luka na 38 MHz pokazuju da se zračenje pozadine u oblasti Severne Polarne Petlje može smatrati konstantnim. Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971) je čak došla do ekstremnog zaključka da je pozadina ista svuda, što se, ipak, za sada ne može smatrati sigurnim, s obzirom na to da, ukoliko halo postoji, njeno tvrdjenje ne može biti tačno. Ona je na osnovu svojih merenja na 820 MHz izvela zaključak da haloa nema. U svakom slučaju, postojao halo ili ne, uslovi izraženi napred navedenim jednačinama mogu se smatrati ispunjenim bar u gruboj aproksimaciji, iz svega što je ovde navedeno.

Ako se prva jednačina napiše za obe učestanosti, posle jednostavnih matematičkih transformacija dobija se da je doprinos samog Polarnog Luka

$$T_s(l_s, b_s, 38) = T_i(l_i, b_i, 38) \frac{1 - \left(\frac{408}{38}\right)^{\beta_t - \beta_i}}{1 - \left(\frac{408}{38}\right)^{\beta_s - \beta_i}} \quad (5.1.)$$

izražen preko temperature oblasti medju granama T_i i spektralnih indeksa Severnog Polarnog Luka β_s i oblasti medju granama β_i i ukupnog spektralnog indeksa β_t u posmatranoj tački.

Veličine β_i i T_i se jednostavno dobijaju očitavanjem na odgovarajućim kartama u tački (l_i, b_i) , β_t u tački (l_s, b_s) , dok se za β_s uzima diferencijalni spektralni indeks Severne Polarne Petlje izveden u ovoj tezi, a izložen u sledećoj glavi.

Pretpostavka pod kojom diferencijalni spektralni indeks te oblasti predstavlja spektralni indeks Severnog Polarnog Luka jeste da je spektralni indeks pozadine iza Luka konstantan.

Ona ima čak i više razloga da bude ispunjena no pretpostavka o konstantnosti intenziteta, jer nije logično očekivati znatnije

promene indeksa pozadine duž konstantne latituda čak i u slučaju haloa.

U suštini članovi sa β_i i β_t su u prednjoj jednačini uvedeni radi simetrije izraza i mogu se zameniti odgovarajućim količnicima temperatura. Spektralni indeks Polarnog Luka β_s se, međutim, s količnikom ne može zameniti jer se diferencijalni spektralni indeks ne dobija preko deljenja temperatura na dvema učestanostima.

Zbir izračunatog doprinosa Severnog Polarnog Luka T_s i temperature oblasti između grana T_i treba da je jednak merenoj temperaturi u tački (l_s, b_s) u oblasti Severnog Polarnog Luka ako su istaknute pretpostavke o konstantnosti pozadine i njenog indeksa tačne.

Račun je izveden za svakih 10° približno duž grebena Severnog Polarnog Luka. Za spektralni indeks Severnog Polarnog Luka uzete su vrednosti izvedene u ovoj tezi (Glava 6), i to za svaku latitudu posebno. Vrednosti ukupnog spektralnog indeksa u izabranim tačkama očitane su sa karte spektralnih indeksa izvedenih u ovoj tezi. U oblasti "među granama" za temperaturu T_i uzete su prvo najniže vrednosti temperatura u oblasti $70^\circ < l < 90^\circ$ i to za svaku izabranu latitudu posebno, da bi se izbegao uticaj promene temperature sa latitudom.

Slično je postupljeno i pri očitavanju spektralnih indeksa β_i s tim što su tu prvo čitane najveće vrednosti iz oblasti visokog spektralnog indeksa sa karte. Oblast sniženog spektralnog indeksa emisionog platoa je izbegnuta kao netipična.

Ovakvim izborom T_i i β_i su uzeti prvo ekstremi. U drugom koraku očitavane su baš vrednosti T_i i β_i iz istih tačaka u oblasti visokog spektralnog indeksa, tj. tačno onako

kako u jednačinama piše. Oba slučaja su uzeta, jer ni jedan slučaj ne odgovara pri maloj razdvojnoj moći od 7° , 7 zamišljenom stanju. Tamo gde je naime indeks visok, na karti temperatura se oseća uticaj Luka, a tamo gde tog uticaja nema spektralni indeks je premali i račun daje besmislen rezultat.

Razlika izmedju posmatranih i izračunatih vrednosti je znatno veća od greške merenja. U svakoj tački posmatrana temperatura je veća od izračunate. Smanjenje vrednosti β_i , s obzirom da je $\beta_i > \beta_t > \beta_s$, dovelo bi do smanjenja izračunatog T_s , a time i ukupne izračunate temperature. To bi dovelo do još većeg raskoraka posmatranih izračunatih vrednosti. Ukoliko se vrednost temperature pozadine u oblasti Luka poveća za onoliko koliko bi sledovalo prema modelu sfernog haloa sa slike 47, vodeći računa da ekstragalaktička komponenta ostaje konstantna, slaganje postaje znatno bolje.

U oblasti emisionog platoa izvedeni račun daje slične rezultate; izračunate vrednosti su i tu niže od merenih.

U oblasti niskog spektralnog indeksa oko $l = 8^{\circ}$, $b = 38^{\circ}$ račun se ne može izvesti, jer diferencijalni spektralni indeks te oblasti se ne može pouzdano izvesti zbog nedovoljnog raspona temperatura. Upotreba diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka u ovoj oblasti dovodi do fizički besmislenih rezultata. Uvodjenje korekcije za priraštaj zračenja koje bi poticalo od haloa dovodi do još većih protivurečnosti u tom delu neba.

Iz računa izloženih u ovom odeljku sledi da bi hipoteza o superponiranju petlje niskog indeksa preko haloa visokog indeksa zadovoljavala posmatračke podatke iz ove teze, ukoliko ne bi bilo oblasti niskog indeksa oko $(l, b = 8^{\circ}, 35^{\circ})$.

Tačnije rečeno račun bi zadovoljavao na grebenu Luka, ali ne i unutar Luka gde je spektralni indeks mnogo niži, sudeći po karti sa slike 66 .

5.6.2.3. Mogućnost interpretacije oblasti visokog indeksa

5.6.2.3.1. Uvod

Radi interpretacije oblasti visokog spektralnog indeksa pomoću haloa korišćen je u ovoj tezi Websterov prilaz (Webster 1978). Izračunata je na osnovu podataka iste razdvojne moći na 38 MHz i 408 MHz raspodela veličine T_h koju ćemo nadalje zvati Websterov parametar, prema autoru koji ju je uveo. Webster je taj parametar definisao kao

$$T'_h(f_1, f_2, l, b) = T_h(f_2, l, b) \left[(f_2/f_1)^{\beta_h - \beta_d} - 1 \right] \quad (5.2)$$

gde su β_d i β_h diferencijalni spektralni indeksi diska i haloa, f_1 i f_2 učestanosti na kojima su posmatrački podaci dobijeni, l i b galaktička longituda i latituda, dok je T_h temperatura zračenja koja potiče od haloa.

Temperatura ukupnog zračenja na učestanosti f , a u tački (l, b) , u oblasti koju je Webster izabrao, trebalo bi po njemu da bude jednaka zbiru zračenja diska, haloa i ekstragalaktičkih izvora

$$T(f, l, b) = T_d(f, l, b) + T_h(f, l, b) + T_e(f) \quad (5.3)$$

Vangalaktička komponenta se smatra pri tome izotropnom kako i sledi iz mnogih posmatranja.

Osnovna i najvažnija osobina Websterovog parametra jeste da je on, pod navedenim uslovima, proporcionalan temperaturi zračenja haloa odnosno intenzitetu zračenja haloa.

Praktično T'_h se izračunava pomoću modifikovane jednačine (5.2.) koja glasi

$$T'_h(f_1, f_2, l, b) = T'(f_1, f_2, l, b) - T'_e(f_1, f_2), \quad (5.4)$$

jer su u njoj sve veličine na desnoj strani takve da se mogu izvesti iz posmatranih podataka.

$$T'(f_1, f_2, l, b) = T(f_1, l, b) (f_2/f_1)^{-\beta_d} - T(f_2, l, b), \quad (5.5)$$

$$T'_e(f_1, f_2) = T_e(f_1) \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{-\beta_d} - T_e(f_2). \quad (5.6.)$$

gde je $T(f)$ merena temperatura zračenja na učestanosti f .

U ovoj tezi Websterov metod je korišćen na praktično celom severnom nebu. Pod takvim uslovima se ne može očekivati da će svuda biti prisutne samo pomenute tri komponente. Takva pretpostavka, naprimer, sigurno nije ispunjena u oblasti Severnog Polarnog Luka, ili u oblasti gde postoji jaka apsorpcija od strane H II. Formalno izračunat iz jednačine Websterov parametar ima tada nešto drukčiji smisao. On će u ovom slučaju ispunjavati Websterovu polaznu ideju da se u tom parametru ne pojavljuje komponenta koja pripada disku, odnosno, sve one komponente koje imaju isti spektralni indeks β_d . Medjutim, moramo biti svesni da to što ostaje neće neminovno biti halo, već uopšte sve ono što ima drukčiji spektralni indeks od diska, bilo veći ili manji.

Pogledajmo sada prvo kakvu vezu treba očekivati između raspodele spektralnih indeksa i raspodele Websterovog parametra, u slučaju kakav je zamislio Webster, s tim što ne ćemo smatrati da je β_h nezavisno od koordinata (1, b). Iz jednačine 5.2 se dobija da je

$$\beta_h(1, b, f_1, f_2) = \beta_d + \frac{\ln \left[\frac{T'_h(f_1, f_2, 1, b)}{T_h(f_2, 1, b)} + 1 \right]}{\ln \left(\frac{f_2}{f_1} \right)} \quad (5.7)$$

U slučaju, koji nas interesuje, $f_1 = 38$ MHz i $f_2 = 408$ MHz, količnik T'_h/T_h bi trebalo da bude, sudeći po vrednostima spektralnih indeksa na karti $\beta(38, 408)$, između 1 i 2.

Grubo približno

$$\beta_h(1, b) \approx \beta_d + \frac{T'_h(f_1, f_2, 1, b) / T_h(f_2, 1, b)}{\ln(f_2/f_1)}$$

Odatle pak sledi, s obzirom da je β_d skoro konstantan, da raspodela Websterovog parametra po koordinatama, odnosno tačnije T'_h/T_h , treba da oponaša raspodelu spektralnog indeksa β_h po nebu, mada ne egzaktno.

Realni slučaj je složeniji, jer tu pored predpostavljenog zračenja haloa postoji sigurno i zračenje lukova ili drugih lokalnih fenomena (T_l). Jednačina 5.3 tada glasi

$$T(f, 1, b) = T_d(f, 1, b) + T_l(f, 1, b) + T_h(f, 1, b) + T_e(f, 1, b). \quad (5.8)$$

Tada će jednačina 5.4 biti

$$T'_h(f_1, f_2, l, b) + T'_l(f_1, f_2, l, b) = T'(f_1, f_2, l, b) - T'_e(f_1, f_2, l, b), \quad (5.9)$$

gde je $T'_l(f_1, f_2, l, b)$ po analogiji

$$T'_l(f_1, f_2, l, b) = T_l(f_1, l, b) (f_2/f_1)^{-\beta_d} - T_l(f_2, l, b) \quad (5.10)$$

Formalno mi to možemo pisati tako da je zbir na levoj strani jednačine 5.9 neko T'_g . S desne strane T_h i T_l su funkcije od f_2

$$T'_g(f_1, f_2, l, b) = (T_h + T_l) \left[\frac{T_h(f_2/f_1)^{\beta_h - \beta_d} + T_l(f_2/f_1)^{\beta_l - \beta_d}}{T_h + T_l} - 1 \right] \quad (5.11)$$

Pošto je ovaj izraz previše složen za analizu, autor teze se opredelio za rešenje da se posmatraju pojedinačne oblasti gde se može smatrati da jedna od komponenata preteže i gde je $T'_g - T'_e$ jednaka nekoj simboličkoj izraženoj veličini T'_p , formalno nalik na izraz izračunat iz posmatranja.

$$T'_p = T'(f_1, f_2, l, b) - T'_e(f_1, f_2, l, b) = T_p(f_2, l, b) \times \left[(f_2/f_1)^{\beta_p - \beta_d} - 1 \right] \quad (5.12)$$

Tu bi T_p bila pojedinačna komponenta, indeksa β_p , koja u toj oblasti dominira. Ako je

$$\beta_p > \beta_d, \quad T'_p > 0,$$

$$\beta_p = \beta_d, \quad T'_p = 0,$$

$$\beta_p < \beta_d, \quad T'_p < 0.$$

5.6.2.3.2. Primena Websterovog metoda eliminacije diska na 38 i 408 MHz

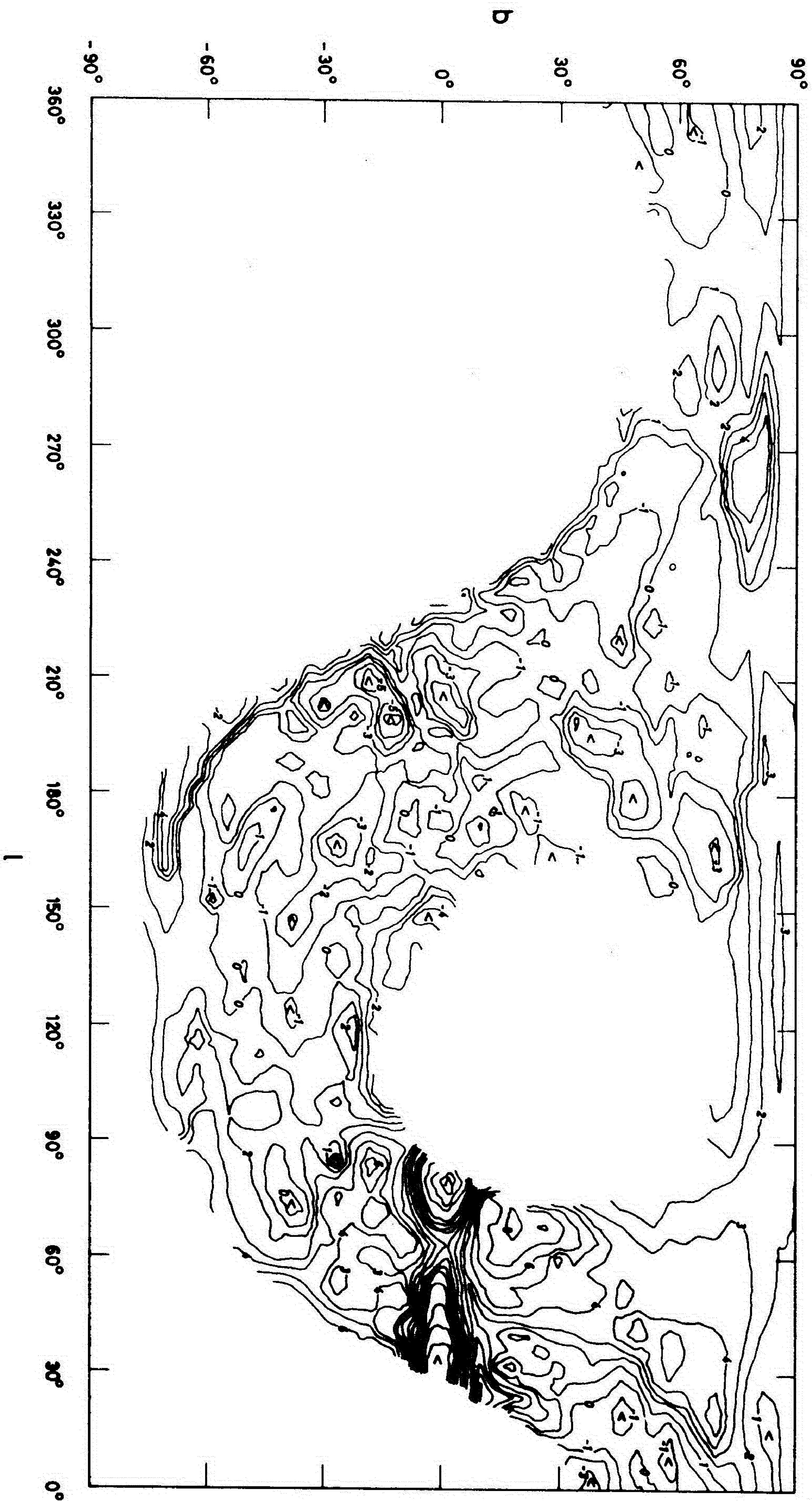
Podaci na kojima se ova teza zasniva imaju bitnu osobinu - istu razdvojnu moć, što ih čini veoma podесnim za analizu po Websterovoj metodi eliminacije diska.

Za izračunavanje su korišćene antenske temperature na 38 MHz popravljene za uticaj jonosferske apsorpcije, jer su tako dobijene i galaktičke karte spektralnih indeksa. Antenske temperature na 408 MHz su prethodno kalibrisane prema Houvelovom standardu, kao što je to uradio Webster (Webster 1978).

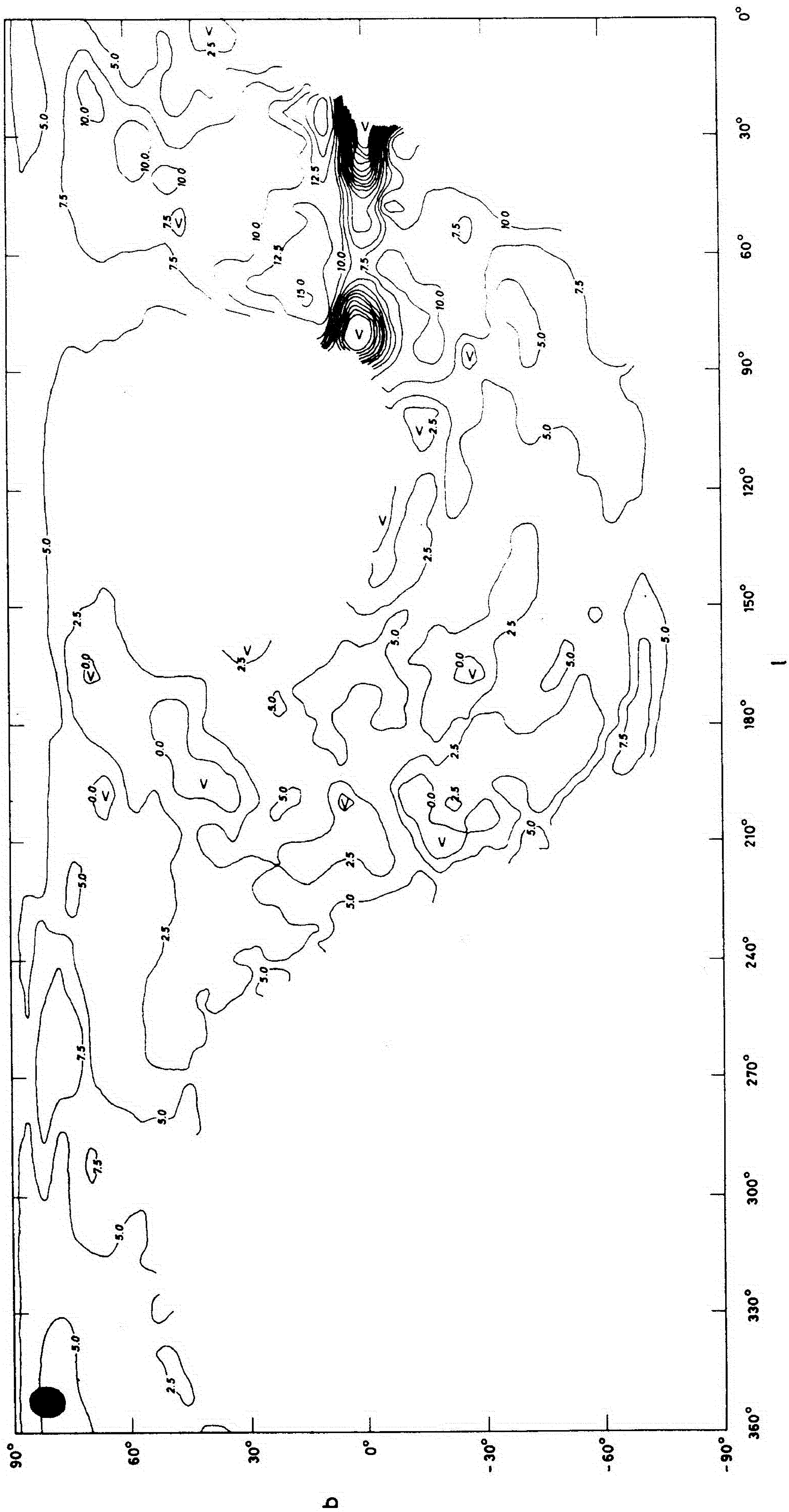
T'_e je računato iz Brajdlovih podataka za $T_e(81,5) = 240$ K i $\beta_e = 2,75$. Na 408 MHz je dodato i reliktno zračenje. Otuda je $T_e(38) = 1960$ K a $T_e(408) = 5,66$ K.

U ovoj tezi raspodela je izračunata za nekoliko vrednosti spektralnih indeksa diska u rasponu od 2,4 do 2,55. Najniža vrednost je bliska onoj koju je Webster koristio između 17,5 MHz i 81,5 MHz, dok je najviša bliska vrednost indeksa u pravcu severnog galaktičkog pola između 38 MHz i 408 MHz.

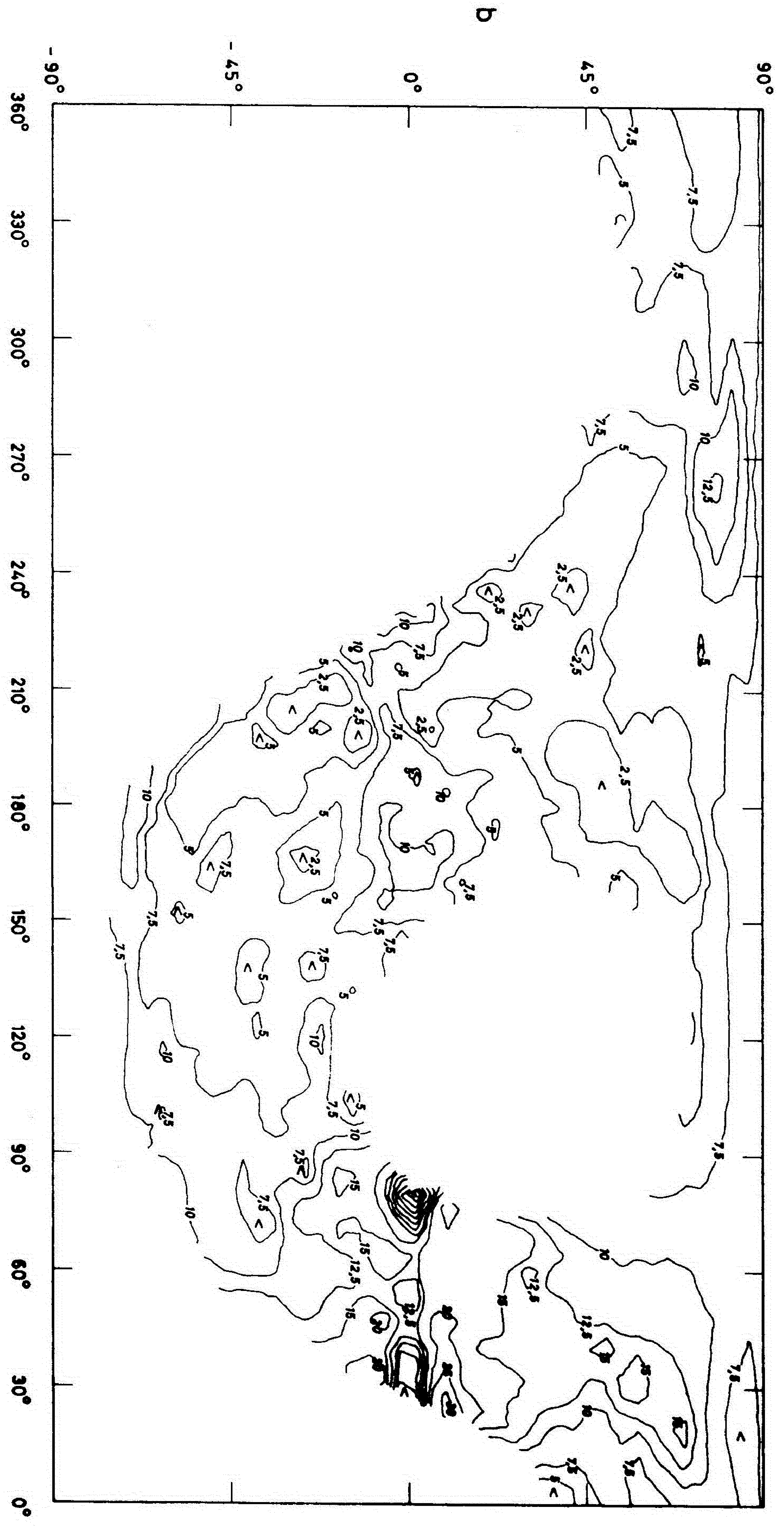
Karte raspodele Websterovog parametra su date: na slici 71. za $\beta_d = 2,5$, na slici 72. za $\beta_d = 2,45$, a na slici 73. za $\beta_d = 2,4$. Sve tri su razdvojne moći $7^{\circ},25 \times 8^{\circ},25$ i date su



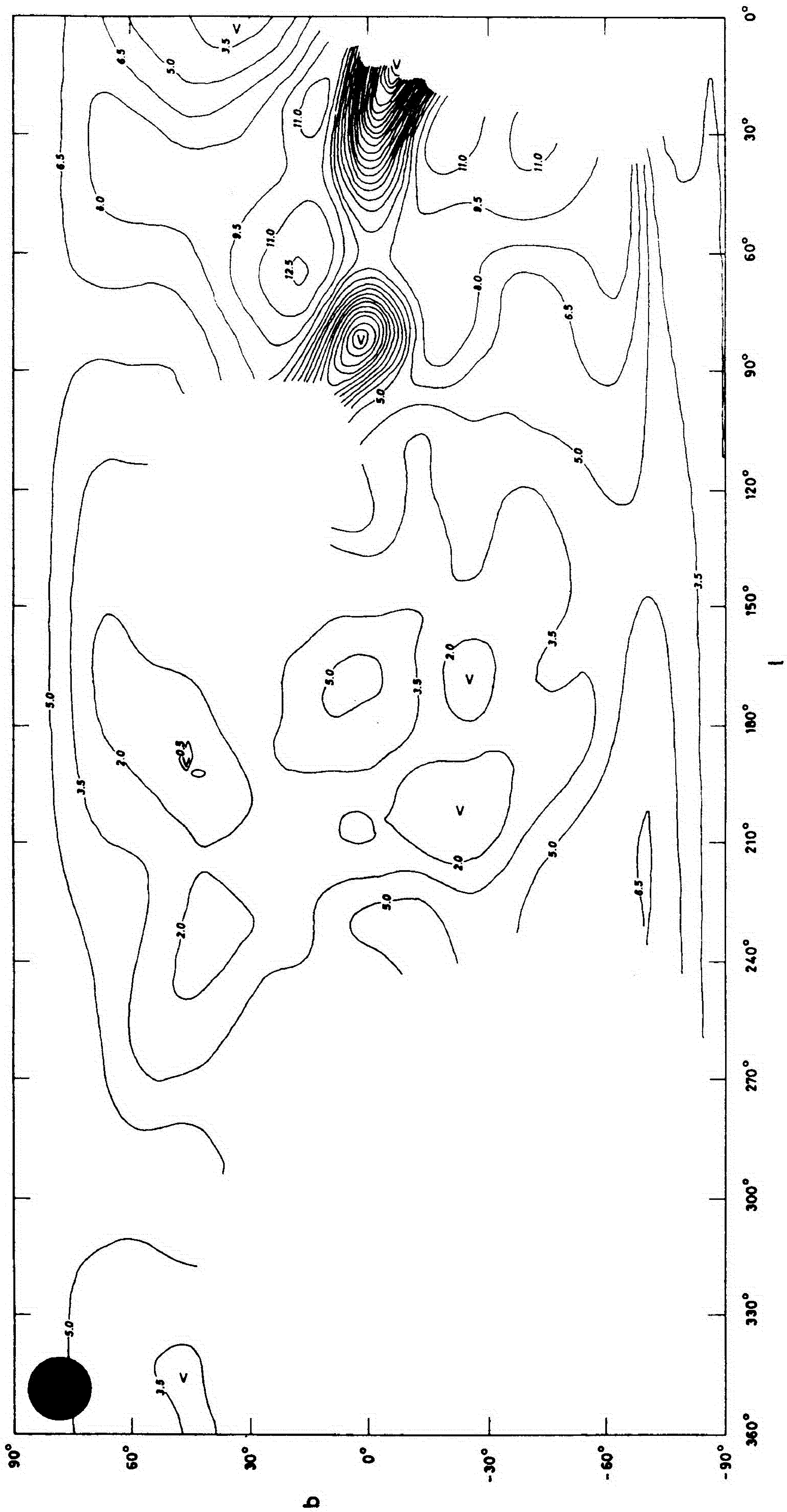
Slika 71. Raspodjela generalisanog Websterovog parametra π'_g (38, 408) izračunatog za $\beta_d = 2, 5$.



Slika 72. Raspodela generalisanog Websterovog parametra $T'_g(38,408)$ izračunatog za $\beta_d = 2,45$. U gornjem levom uglu data je uporedna veličina glavnog snopa $7^\circ \text{ l}/4 \times 8^\circ \text{ l}/4$.



Slika 73. Raspodela generalisanog Websterovog parametra τ'_g (38, 408) izračunatog za $\beta_d = 2,4$.



Slika 74. Raspodjela generalisanog Websterovog parametra $T'_g(38,408)$ izračunatog za $\beta_d=2,45$, a razdvojene moći 15° x 15°

u galaktičkom koordinatnom sistemu. Brojevima duž linija treba dodati sledeće vrednosti da bi se dobilo T'_g : za $\beta_d = 2,4$, $\Delta = 0,1$, za $\beta_d = 2,5$, $\Delta = 1,5$.

Na slici 74. je raspodela Vebsterovog parametra za $\beta_d = 2,45$, isto u (l, b) sistemu, pri razdvojnoj moći od $15^\circ \times 15^\circ$. Ova poslednja karta je uradjena zato da bi se istakle bitne karakteristike i izgledili nebitni detalji. Razdvojna moć je tu bliska razdvojnoj moći Brajdlove karte ukupnih spektralnih indeksa $\beta(17;5, 81,5)$, a koja iznosi $12^\circ \times 17^\circ$. Ova sličnost razdvojnih moći omogućava uporednu analizu i Brajdlove karte sa tačke gledišta Vebsterovog pristupa. Zbog konvolucije granice područja su nerearno proširene. Na kartama parametra za $\beta_d = 2,45$ u gornjem levom uglu data je i veličina glavnog lista antenskog snopa.

Pažljivo razgledanje karata spektralnih indeksa sa i bez vangalaktičkih komponenata (66-68) pokazuje da bi vrednost $\beta_d = 2,5$ bila najbliža onoj koju bismo mogli nazvati spektralnim indeksom diska. To je preovladjujuća vrednost u oblasti anticentra, gde se za zračenje haloa očekuje da je slabo i gde nema sjajnih lukova. Izbor "tipičnog" spektralnog indeksa diska je zbog razudjenosti karte težak i srazmerno nedovoljno odredjen. Kao što se može videti iz 6.2.6.

vrednosti diferencijalnog spektralnog indeksa dobijene iz T-T grafika u anticentru za izabrane konstantne longitudo leže između 2,45 do 2,56, srednje vrednosti $\bar{\beta}_d = 2,53 \pm 0,05$.

Za razliku od Vebstera, koji je za svaki opseg uzeo po dve bliske vrednosti diferencijalnog spektralnog indeksa diska oblasti anticentra, autor ove teze je pošao od toga da znatnijim variranjem vrednosti β_d ispituje efekte na raspodelu parametra. Sem radoznanosti, razlog za to je i

znatno veći broj detalja koji je razdvojna moć od 7° , 7 donela u odnosu na Brajdlove i Sironijeve podatke sa kojima je Webster operisao. Pri takvim detaljima izbor "tipičnog" spektralnog indeksa diska dobro je proveriti jednom uporednom analizom.

Već na prvi pogled sa slika 71, 72, 73. se vidi da one zaista podsećaju na raspodelu spektralnih indeksa sa slika 66, 67, 68 . Najviše liči karta Websterovog parametra dobijena za $\beta_d = 2,5$, a najmanje ona za $\beta_d = 2,4$. Razlike nisu velike u oblasti anticentra što se tiče oblika kontura, mada se brojčano sve mnogo razlikuje.

Najveća razlika u obrisima kontura se očituje upravo u oblasti Severnog Polarnog Luka. Za $\beta_d = 2,4$ koji je znatno drukčiji od indeksa Severnog Polarnog Luka β_s , nije dovoljno oduzeti doprinos Luka, pa se njegovi tragovi vide oko $l = 30^{\circ}$. Na karti Websterovog parametra za $\beta_d = 2,45$, Luk je nestao, a oblast visokog parametra severno od Luka se pojavljuje kao upadljiva karakteristika. Ona je skoro ista, čak i u detaljima i na karti spektralnih indeksa i na karti Websterovog parametra za $\beta_d = 2,5$.

Sve četiri karte Websterovog parametra imaju negativne vrednosti oko galaktičke ravni u centralnom kvadrantu, oblast visokog parametra južno od galaktičke ravni u centralnom kvadrantu, oblasti visokog parametra oko $(l, b = 290^{\circ}, 80^{\circ})$ i niskog parametra u oblastima centriranim približno na $(l, b) : (8^{\circ}, 35^{\circ}), (200^{\circ} - 20^{\circ}), (176^{\circ}, 48^{\circ}), (165^{\circ} - 25^{\circ}), (230^{\circ}, 45^{\circ})$. Navedene oblasti su upravo one koje su zapažene na karti spektralnih indeksa kao glavne osobene oblasti pored oblasti severno od Severnog Polarnog Luka.

Zanimljivo je da se i mnogi drugi detalji javljaju i na karti indeksa i na karti parametra, kao što su:

izduženi jezičak na $(25^\circ, 20^\circ)$, prečka na $(45^\circ, 40^\circ)$,
izduženo ostrvo na $(10^\circ, 50^\circ)$, $(68^\circ, 20^\circ)$, $(168, -50^\circ)$, okruglo
ostrvo na $(230^\circ, -2^\circ)$, rupa na $(0^\circ, 85^\circ)$, i td.

Dok na karti Websterovog parametra za $\beta_d = 2,4$ negativnih vrednosti ima samo u oblasti Cyg X i galaktičkog središta, za $\beta_d = 2,45$ vrednosti manje od nule pojavljuju se u oblasti Barnardove petlje, rupe u Perseju i gornje hladne rupe. Za $\beta_d = 2,5$ ima ih u najvećem delu anticentra i u svim hladnim rupama, uključujući i onu u Vodoliji i Vagi. Za $\beta_d = 2,55$ negativne vrednosti su svuda sem u oblasti severno od Severnog Polarnog Luka. Smatrajući ovu poslednju činjenicu indikatorom nepodesnog izbora vrednosti spektralnog indeksa diska, karta Websterovog parametra za $\beta_d = 2,55$ nije ni crtana.

5.6.2.3.3. Parametri modela haloa izračunatog iz raspodele Websterovog parametra

Modeliranje haloa prema raspodeli Websterovog parametra izvršeno je sledeći postupak koji je Webster primenio u svom radu u obliku haloa (Webster 1978). Kao posmatračka osnova korišćena je karta Websterovog parametra, odnosno njoj odgovarajuća matrica parametra iz koje je bio isečen deo unutar Severnog Polarnog Luka, tj. deo između $l = 240^\circ$ i $l = 40^\circ$, $b > 10^\circ$, i predeo oko galaktičke ravni. Korišćene su raspodele za $\beta_d = 2,4; 2,45; 2,5$ i $2,55$. Radi ispitivanja stepena pouzdanosti modela u odnosu na moguće greške posmatranja bili su izvedeni i računi bez ostrva najvišeg indeksa na $(68^\circ, 20^\circ)$

i dela koji bi mogao biti znatnije opterećen jonosferskom apsorpcijom ($l < 60^\circ$, $b < -10^\circ$).

Kao model haloa uzet je rotacioni elipsoid (sferoid) uniformne emisije, čija je površina data jednačinom

$$\frac{x^2 + y^2}{A^2} + \frac{z^2}{B^2} = 1$$

gde su x , y , z Dekartove koordinate sa koordinatnim početkom u galaktičkom središtu, i gde je z - osa upravna na galaktički disk.

Uzeto je da se Sunce nalazi na $(R_\odot, 0, 0)$ kpc, gde $R_\odot = 10$ kpc, kao i kod Vebstera. Emisivnost haloa J_h je uzeta da je konstantna unutar elipsoida, a nula van njega.

Gledano sa Zemlje teorijska temperatura sjaja haloa t_h

$$t_h(l, b) = J_h(f) L_h(l, b, A, B)$$

gde je $L_h(l, b, A, B) =$

$$\frac{R_\odot B^2 \cos l \cos b \pm \sqrt{R_\odot^2 B^4 \cos^2 l \cos^2 b - B^2 (R_\odot^2 - A^2) (A^2 \sin^2 b + B^2 \cos^2 b)}}{A^2 \sin^2 b + B^2 \cos^2 b}$$

Kao i kod Vebstera, u ovoj tezi oznaka t je teorijska temperatura, dok je T merena temperatura.

Otuda je teorijski Vebsterov parametar po analogiji

$$\begin{aligned} t'_h(f_1, f_2, l, b) &= t_h(f_1, l, b) (f_2/f_1)^{-\beta_d} - t_h(f_2, l, b) \\ &= J'_h(f_1, f_2) L_h(l, b, A, B) \end{aligned}$$

gde je

$$J'_h(f_1, f_2) = J_h(f_1) (f_2/f_1)^{-\beta_d} - J_h(f_2).$$

U ovoj tezi podešavanje modela sferoidnog haloa je vršeno odjednom prema celoj dvodimenzionoj raspodeli parametra T_h , što je korak dalje u odnosu na prvo podešavanje koje je izvršio Webster prema trima jednodimenzionim raspodelama.

I ovde su kao i kod Webstera varirane vrednosti A, B i J' , sve dok nije nadjena trojka koja je davala najbolje podešen model. Kao merilo podešenosti usvojen je kao kod Webstera zbir kvadrata odstupanja

$$Q = \sum_{l,b} \left[T'_h(f_1, f_2, l, b) - t'_h(f_1, f_2, l, b) \right]^2$$

S obzirom da ovde nije bio cilj dokazivanje mogućnosti postupka, u ovoj tezi nije vršena analiza svih tipova elipsoida, kao što je Webster učinio, niti je crtan dijagram veličine Q u funkciji A i B. Ovde je napisan program koji je tražio najmanje zbir Q_{\min} od svih zbirova Q, koji su računati dok su varirani A, B i J' .

Za oblik haloa bitne su konture raspodele parametra T'_h . Dodavanje konstantnog nivoa ne može da utiče stoga na oblik elipsoida, ali će uticati na zbir kvadrata rezidua Q i to tako da se lako ne može izdvojiti.

Kao što se vidi sa slika 71, 72. i 73. i kako je izloženo, počev od $\beta_d = 2,45$ i naviše, javljaju se veće oblasti negativnog parametra T'_h , i to u sve većem obimu, ukoliko je β_d veće. Za $\beta_d = 2,55$ pozitivne vrednosti T'_h su izuzetak. U slučaju koji je Webster zamislio, gde postoji samo disk, halo i vangalaktička komponenta, po njegovim rečima "negativne vrednosti nisu konzistentne sa metodom ove analize". Stoga, ako

izračunatih poluosa i parametra J' za najbolje podešene elipsoidne modele haloa

| β_d | A (kpc) | B (kpc) | A/B | J' (K/kpc) | Q (K^2) | \sqrt{Q} (K) | Oblast modeli- ranja | Dodati nivo |
|-----------|------------|------------|------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------|----------------|
| 2,4 | 15,75 | 11,0 | 1,4 | 0,875 | 6975 | 84 | S ₃ | |
| 2,45 | 16,75 | 14,00 | 1,2 | 0,650 | 4716 | 69 | S ₁ | 2,11 |
| 2,45 | 13,75 | 12,50 | 1,1 | 0,625 | 4501 | 67 | S ₃ | -0,36 |
| 2,45 | 17,00 | 14,50 | 1,2 | 0,625 | 4513 | 67 | S ₃ | 2,11 |
| 2,45 | 16,75 | 14,00 | 1,2 | 0,650 | 4769 | 69 | S ₄ | 2,11 |
| 2,5 | 19,00 | 18,75 | 1,01 | 0,50 | 3846 | 62 | S ₁ | 4,73 |
| 2,5 | 19,00 | 18,75 | 1,01 | 0,50 | 3689 | 61 | S ₂ | 4,73 |
| 2,5 | 18,75 | 18,75 | 1,01 | 0,50 | 3675 | 61 | S ₃ | 4,73 |
| 2,5 | 19,00 | 18,75 | 1,01 | 0,50 | 3976 | 63 | S ₄ | 4,73 |
| 2,55 | 22,00 | 24,75 | 0,89 | 0,40 | 4019 | 63 | S ₃ | 7,37 |

♦ Oznake za oblast modeliranja znače sledeće:

S₁ = cela karta T_g sem $240^\circ < l < 40^\circ$, $b > 10^\circ$

$l < 24^\circ$, $b < -10^\circ$

$l < 140^\circ$, $b < 10^\circ$

S₂ isto što i S₁, s tim što je izuzeta još oblast

$$1 < 56^\circ, b < -10^\circ$$

S_3 isto što i S_1 , s tim što je izuzeta još oblast

$$64^\circ < 1 \leq 72, 10^\circ < b < 34^\circ$$

S_4 isto što i S_1 , s tim što je izuzeta još oblast

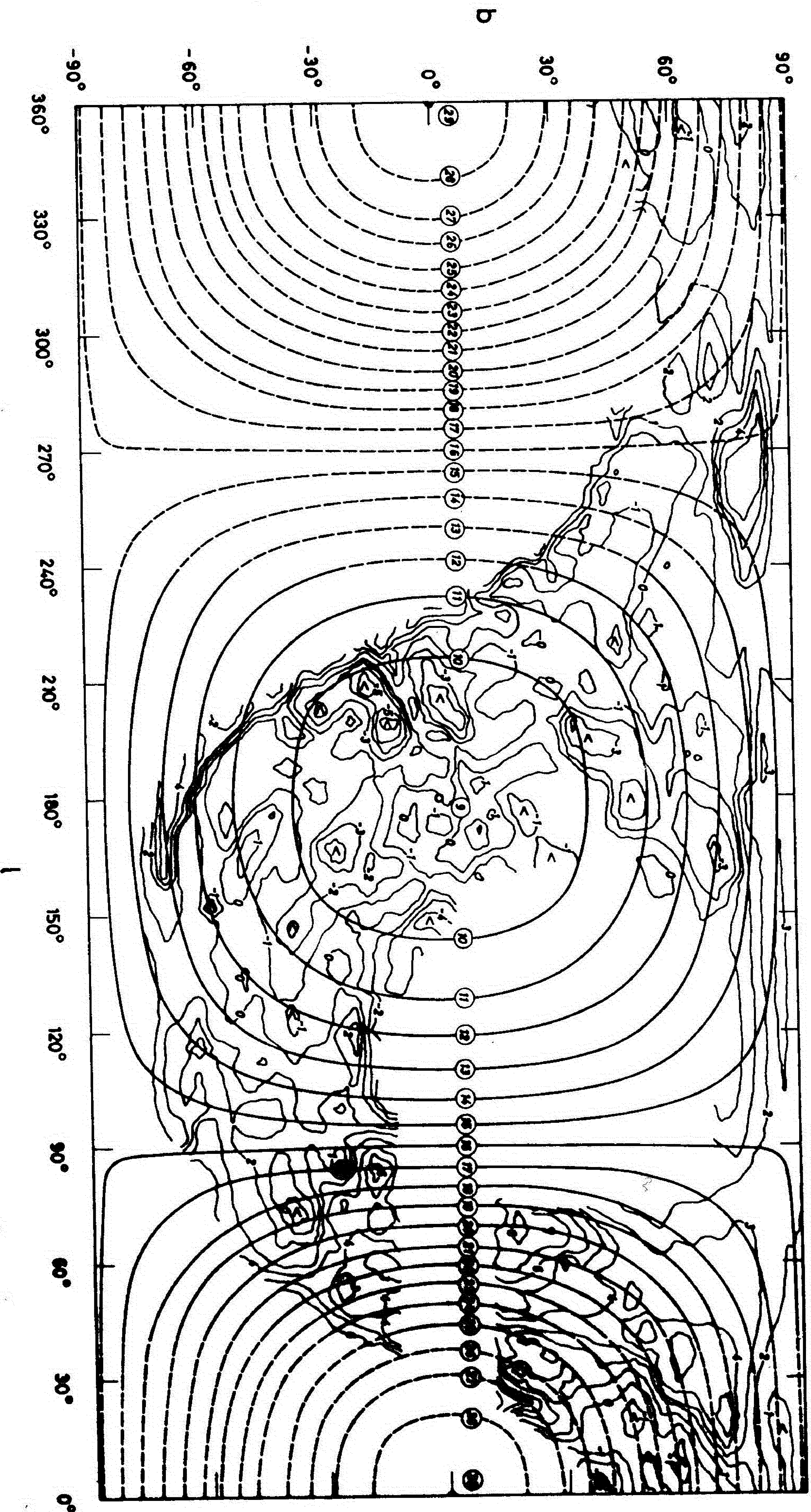
$$188^\circ \leq 1 \leq 216^\circ, -34^\circ \leq b \leq -10^\circ$$

se prihvati vrednost β_d , koja daje $T'_h < 0$, potrebno je zauzeti stav da se mora primeniti kompenzacija koja bi povećala T'_h na nulti (osnovni) nivo parametra T'_h . U ovdašnjem, znatno složenijem slučaju, gde se moraju i lukovi i apsorpcija od strane H II uzeti u obzir, ovako restriktivan stav ne može da se svom strogošću sprovodi. Diskusija tog problema je izložena u sledećem odeljku.

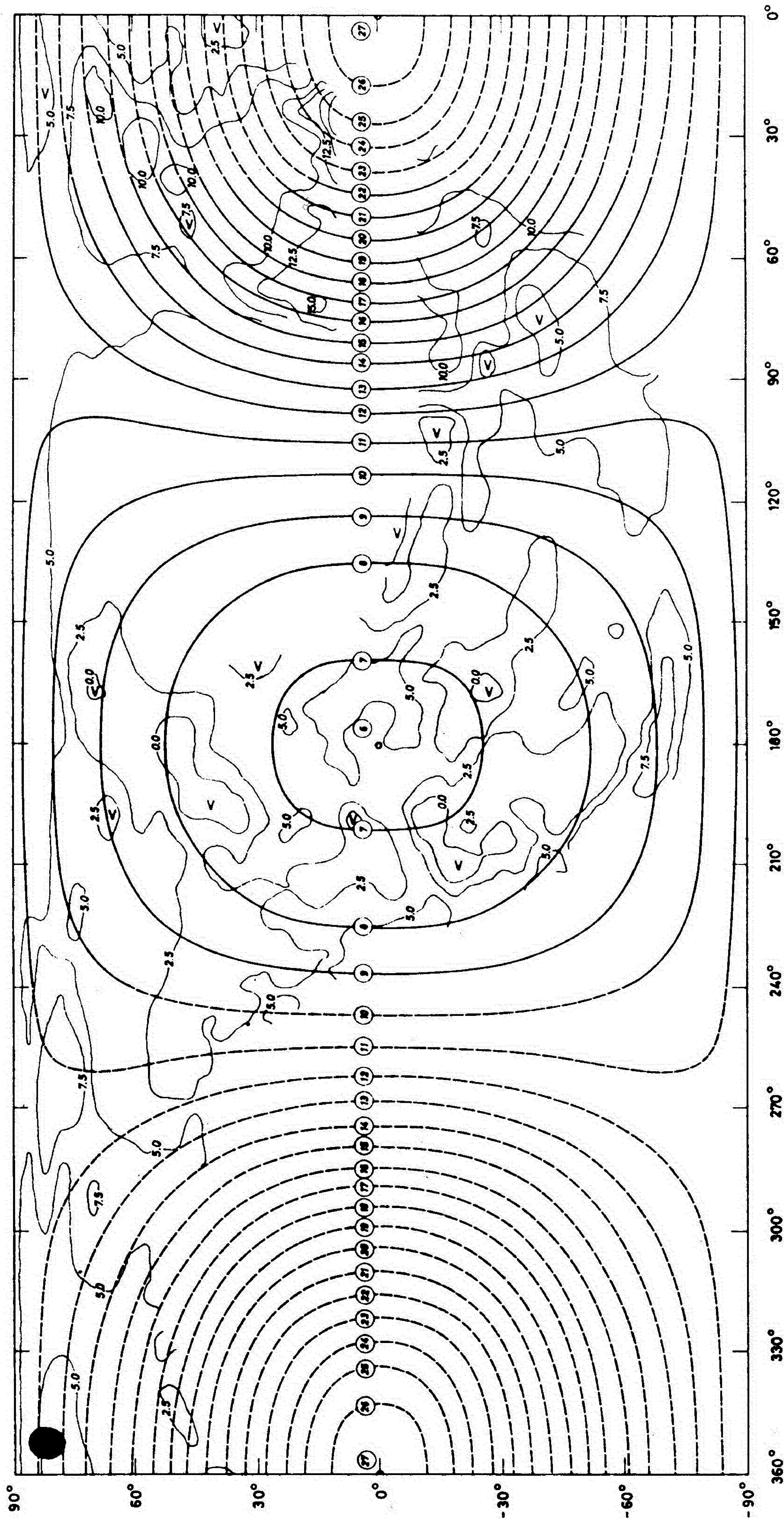
Za sada je dovoljno znati da je autor teze, u svim slučajevima gde su zapažene negativne vrednosti na visokim latitudama ($|b| > 10^\circ$), dodavao konstantan nivo, po apsolutnoj vrednosti jednak najnižoj zapaženoj vrednosti T'_g . Tek tada se pristupilo modeliranju. Radi ispitivanja uradjeno je i nekoliko modeliranja bez dodavanja korekcije nivoa. U podešavanju osa elipsoida A i B, išlo se do tačnosti od 1/4 kpc, a u podešavanju parametra J' do oko 6%.

U oblasti S_3 koja je obradjena za sve β_d , uz dodavanje nivoa radi neutralizacije negativnih brojeva, istraženo je koja vrednost β_d daje najmanji zbir kvadrata odstupanja. Podešavanjem parabole grešaka kroz tri tačke (β_d, Q): (2,45; 4513), (2,5; 3678), (2,55; 4019) dobijeno je da minimum leži na $\beta_d = 2,50$, što se moglo lako predvideti iz samih vrednosti Q .

Na slikama 75. i 76. date su konture konstantnih puteva zraka kroz podešeni elipsoid, izražene u kpc. One su superponirane preko raspodele generalisanog Websterovog parametra T'_g za $\beta_d = 2,5$, a na slici 76. za $\beta_d = 2,45$. Oba haloa, čiji je sjaj prikazan, izračunati su podešavanjem prema celom raspoloživom nebu, izuzev oblasti unutar Severnog Polarnog Luka, tj. podešavanjem prema oblasti označenoj sa S_1 . Brojeve date duž kontura t'_g treba pomnožiti sa odgovarajućim J' iz tablice da bi se dobilo t'_g (tablica 8).



Slika 75. Raspodela generalisanog Websterovog parametra za $\beta_1 = 2,5$ preko koje su superponovane linije konstantnog sjaja njoj najbolje podešenog elipsoida.



1

Slika 76. Raspodela generalisanog Vebsterovog parametra za $\beta_d = 2,45$ sa superponovanim linijama konstantnog sjaja njoj najbolje podešenog elipsoida.

Tačnost kontura je oko 50 pc, odnosno oko lučnog stepena. Zbog toga što su daljine date na 1 decimalu i što se zbog projekcije javlja distorzija, krive imaju ovakav izgled.

5.6.2.3.4. Diskusija podešenih modela haloa

Pre svega, vidi se da izračunati modeli dosta dobro oponašaju raspodelu dobijenu iz posmatračkih podataka u oblaku van Petlje I. Unutar Petlje I raskorak je drastičan; umesto T'_g raste kao što t'_g čini, posmatrački podaci daju izraziti pad. Po obliku, konture srazmerno dobro oponašaju raspodelu T'_g , čak i unutar Petlje I, zbog toga što je Severni Polarni Luk sličnog zakrivljenog oblika.

Slučaj modela za $\beta_d = 2,4$ odudara od ostalih i po sumi kvadrata rezidua i po obliku haloa.

Iako bi se prema Websterovim vrednostima (Webster 1978) - $\beta_d (17,5; 81,5) = 2,38$ i $\beta_d (81,5; 408) = 2,41$ moglo očekivati, na prvi pogled, da $\beta_d (38, 408)$ bude blisko 2,4, pokazuje se da za date podatke na 38 MHz i 408 MHz bolje odgovaraju veće vrednosti β_d . To sledi kako iz podešavanja modela tako i iz vrednosti neposredno odredjenih pomoću T-T grafika (Glava 6). Moguće je da deo razlike u spektralnim indeksima potiče od razlike u razdvojnim moćima, koja je oko 70%. Medjutim, pravi odgovor izgleda nije moguće lako dati bez novih preciznijih merenja. Srećom, ovo pitanje nije ključno u razmatranom problemu.

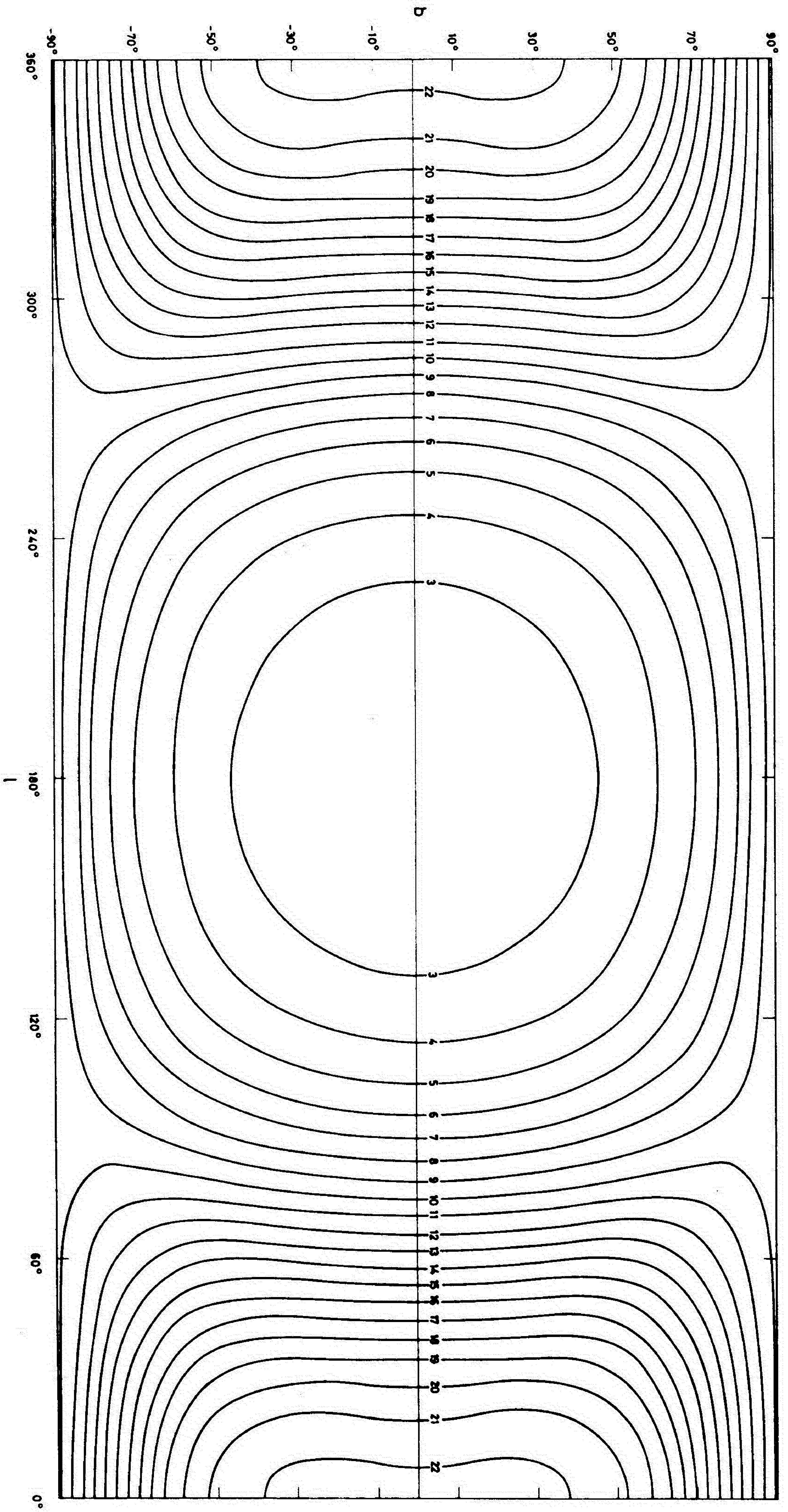
U svim slučajevima, sem za $\beta_d = 2,55$, najpodesniji model haloa je spljošteni elipsoid. Za slučaj $\beta_d = 2,55$, to je izduženi elipsoid. Za $\beta_d = 2,5$ najpodesniji model je praktički lopta.

Logično je da očekujemo da će model koji odgovara rasponu 38 MHz - 408 MHz da bude blizak lopti, ako je Webster dobio spljošteni elipsoid između 81,5 MHz i 408 MHz, a izduženi između 17,5 MHz i 81,5 MHz.

Vrednost sume kvadrata rezidua u slučajevima datim u tablici 8. su znatno veće od onih koje je dobio Webster. To nije iznenadjujuće, jer je u ovoj tezi razmatrana dvodimenziona raspodela. Treba očekivati da vrednost za \sqrt{Q} bude približno jednaka vrednosti koju je Webster izračunao u svom radu. To što je \sqrt{Q} veći od sume rezidua kod Websterera može se pripisati znatno većem broju detalja koji odražavaju lokalna odstupanja od jednostavnog modela. Neka od njih su šum, ali najveći broj predstavlja odraz realnih objekata koji su detaljno prodiskutovani u 5.5.

U ovoj tezi nije sprovedeno numeričko poredjenje za tri tipa modela po rasponu učestanosti, kao što je to Webster učinio u jednodimenzionom slučaju. Na ovom mestu zadovoljićemo se time što ćemo uporediti raspodelu parametra T'_g sa onom koja bi odgovarala izduženom elipsoidu osa koje je Webster izračunao za opseg 17,5 MHz - 81,5 MHz: $A = 12,2$ kpc, $B = 17$ kpc (slika 77). Tačnost kontura je i tu oko 50 pc. Već prvi pogled na teorijsku raspodelu sa slike govori da izrazita izduženost sigurno nije ono što bi odgovaralo posmatračkim podacima sa slike 77. Stoga numerička analiza slična Websterovoj nije izgledala vredna velikog računskog vremena potrebnog da se uloži u dvodimenzionom slučaju. Ovo utoliko pre, jer po mišljenju autora ove teze nije izvesno da halo može da objasni raspodelu spektralnih indeksa datu u ovoj tezi (vidi 5.6.5).

Deklinacije na kojima je Webster svoju metodu koristio ne zadiru u oblast Severne Polarne Petlje. Ona,



Slika 77. Karta linija konstantnog sjaja elipsoida velike ose 12,2 kpc i male ose 17 kpc, videne sa Sunca 10 kpc dalekog od središta.

odnosno, tačnije deo unutar nje, je od bitnog značaja za tumačenje raspodele spektralnih indeksa (5.6.5). Vebsterovo određivanje veličine i oblika haloa, kao i određivanje parametra haloa Vebsterovom metodom u ovoj tezi, imaju otuda uslovni značaj. Preveliko dalje matematiziranje je zato autoru ove teze izgledalo nesvršishodno.

Osvrnimo se stoga više na osobenosti raspodele vezane za posmatračke podatke.

Uticaj eventualnih grešaka zbog jonosferske apsorpcije ispitan je time što je isključen deo znatnije njome pogodan. Podešavanje modela tako reduciranoj oblasti neba S_2 je dalo potpuno isti rezultat, u podrobno ispitanom slučaju raspodele za $\beta_d = 2,5$.

Uticaj malog ostrva ekstremno visokog spektralnog indeksa, koji se javlja na mestu malog luka na $(70^\circ, 25^\circ)$ karte na 38 MHz, ispitan je njegovim isključenjem. Oblast (S_3) tako definisana dala je svega 0,25 kpc kraću osu A, dok su B i J' ostali isti, u testiranom slučaju $\beta_d = 2,5$.

Isključenje oblasti veoma niskog spektralnog indeksa sa središtem na oko $(200^\circ, -20^\circ)$, tzv. oblasti S_4 nije dalo nikakvu izmenu u testiranom slučaju $\beta_d = 2,5$.

Iz ovih ispitivanja sledi da su oblik i veličina haloa praktično nezavisni od navedenih detalja.

Postupak je, međjutim, osetljiv na to da li se podešavanje modela vrši uz prisustvo negativnih vrednosti T'_g ili ne, tj. da li se nivo brojčano podiže dodavanjem konstanti. To nastaje zbog načina na koji je definisana veličina Q. Uticaj je toliki da može prevesti model iz izduženog u spljoštenu elipsoid odnosno obrnuto.

Pojava negativnih veličina na kartama generalisanog

Vebsterovog parametra T'_g je uvek vezana sa oblastima ispod prosečnog spektralnog indeksa, a koji se sa svoje strane javlja ili tamo gde je medjuzvezdana apsorpcija značajna, ili tamo gde su tzv. rupe. Pojava negativnih brojeva u oblasti apsorpcije od strane H II, kako oko galaktičke ravni, tako i van nje, je normalna. Pitanje je samo kako se treba odnositi prema negativnim vrednostima u oblasti rupa. Pošto bi one mogle biti prozori, rupe oko galaktičkih polova u prvom redu, postavlja se pitanje, da li se kroz njih vidi samo ekstragalaktička komponenta ili i deo diska. Nizak spektralni indeks ukazuje da se pre vidi disk, jer je ekstragalaktička komponenta visokog spektralnog indeksa i izotropna. Ako bi spektralni indeks rupa bio jednak spektralnemu indeksu diska u proseku, onda bi β_d (38, 408) trebalo izabrati negde između 2,43 i 2,41, jer se toliko dobija na tim mestima po odbitku vangalaktičke komponente (slika 68).

Medjutim, imajući u vidu da je procenjena greška ukupnih spektralnih indeksa oko 0,03 i da je nivo merenja na 408 MHz nesiguran za 1 K, treba razmotriti i susedne vrednosti β_d , kao što su 2,45 i 2,4. Ako se nivo temperatura na 408 MHz smanji za 1 K, kao što je to učinio Webster, negativne vrednosti na mestu rupa na karti generalisanog Websterovog parametra T'_g nestaju, i što je značajno, postaju bliski nuli. Ovo poslednje se očekuje u slučaju idealnog izbora vrednosti svih komponentata.

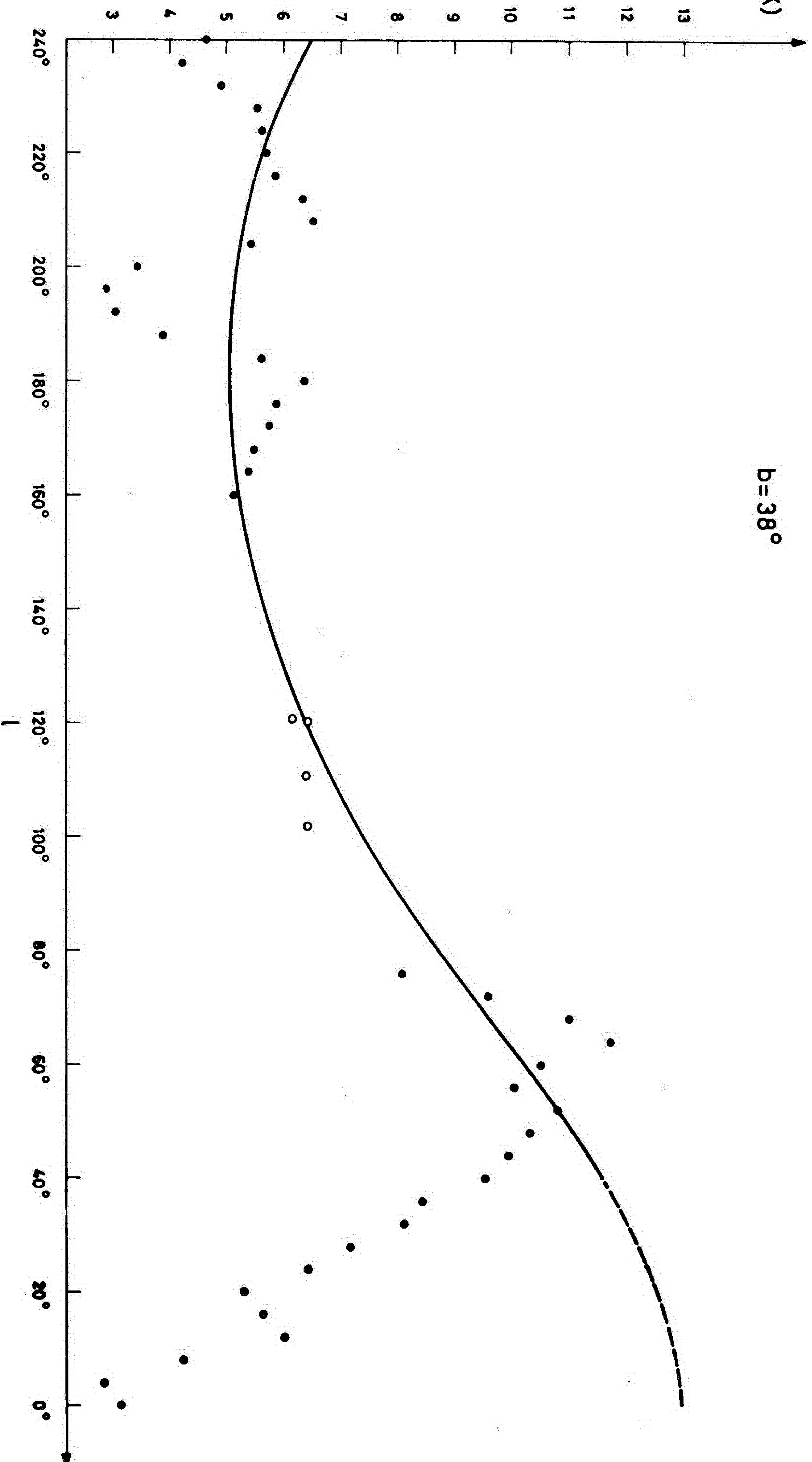
Za $\beta_d = 2,45$ dobija se i veća sličnost između karte spektralnog indeksa i karte generalisanog Websterovog parametra nego za $\beta_d = 2,4$. Vrednosti u oblasti rupa za $\beta_d = 2,4$ su takve da bi nivou merenja na 408 MHz trebalo dodati 1 K, pa da se vrednost T'_g u njima dovede blizu nule.

Uzimajući u obzir i rezultate ispitivanja diferencijalnih spektralnih indeksa iz glave 6, sledi da više vere treba pokloniti raspodeli T'_g za $\beta_d = 2,45$ no za $\beta_d = 2,4$.

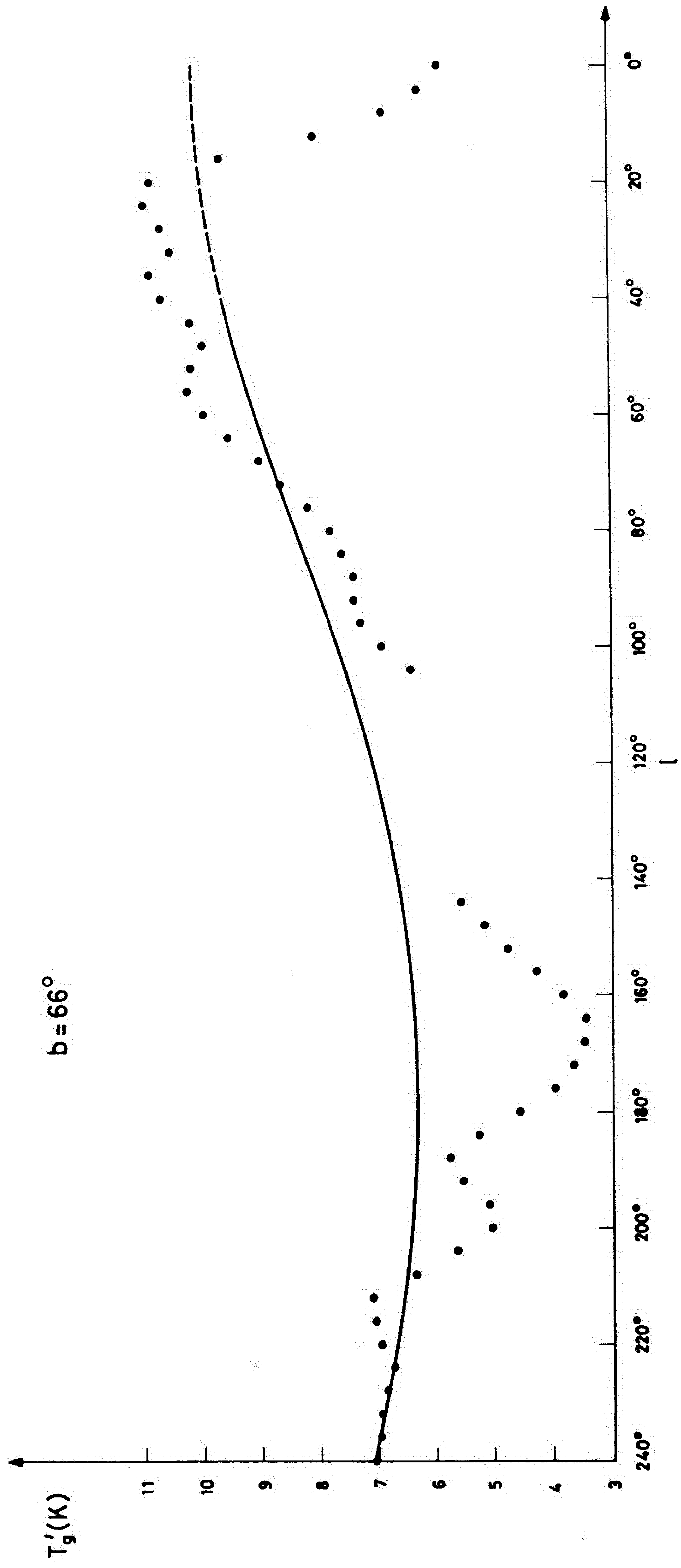
Zanimljivo je uočiti da većina ostataka supernovih ima spektralni indeks blizak 2,45. Sličnost indeksa diska i indeksa supernovih se uklapa u hipotezu Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971) o zajedničkom poreklu, pa stoga mami na davanje tega $\beta_d = 2,45$.

Medjutim, neosporno je to da konture raspodele parametra T'_g za $\beta_d = 2,5$ bolje odgovaraju modelu elipsoidnog haloa. Primenjen na kartu u celini, $\beta_d = 2,5$ daje 18% niže Q , a daje i bolju reprodukciju karte spektralnih indeksa. Mnogo negativnih oblasti u ant centru bi moglo, sem lokalnih fluktuacija, značiti da je ili ekstragalaktička komponenta precenjena, ili da je nivo na 38 MHz premali, ili da je nivo na 408 MHz prevelik, ili kombinovano. Samo sniženje T'_g za 20%, koje bi sledilo na osnovi eksperimentalne greške Brajdlovih merenja, nije dovoljno. U najhladnijim oblastima T'_g je - 3 K do -4,7 K. Prosečna greška merenja za niže temperature na 38 MHz bi dala grešku u T'_g od 1,3 K, dok merenja na 408 MHz mogu dati još bar 1 K. Veoma je moguće da su greške u oblasti nižih temperatura čak i veće. Naročito je sumnjiv nivo severne i južne rupe oko galaktičkog severnog pola na 404 MHz, jer im je intenzitet inverzan u odnosu na druge preglede. Prema tome, sasvim je moguće da negativne vrednosti T'_g za $\beta_d = 2,5$ u oblasti rupa potiču i od grešaka merenja.

Radi veće preglednosti i lakšeg poredjenja sa Websterovim graficima, koji daju zavisnost T'_h , odnosno t'_h od koordinata, nacrtani su slični grafici za T'_g i t'_g , za $\beta_d = 2,5$ (slike 78-80). Izabrane su galaktičke latitude $b = 38^\circ$,

$T'_g(K)$ $b=38^\circ$ 

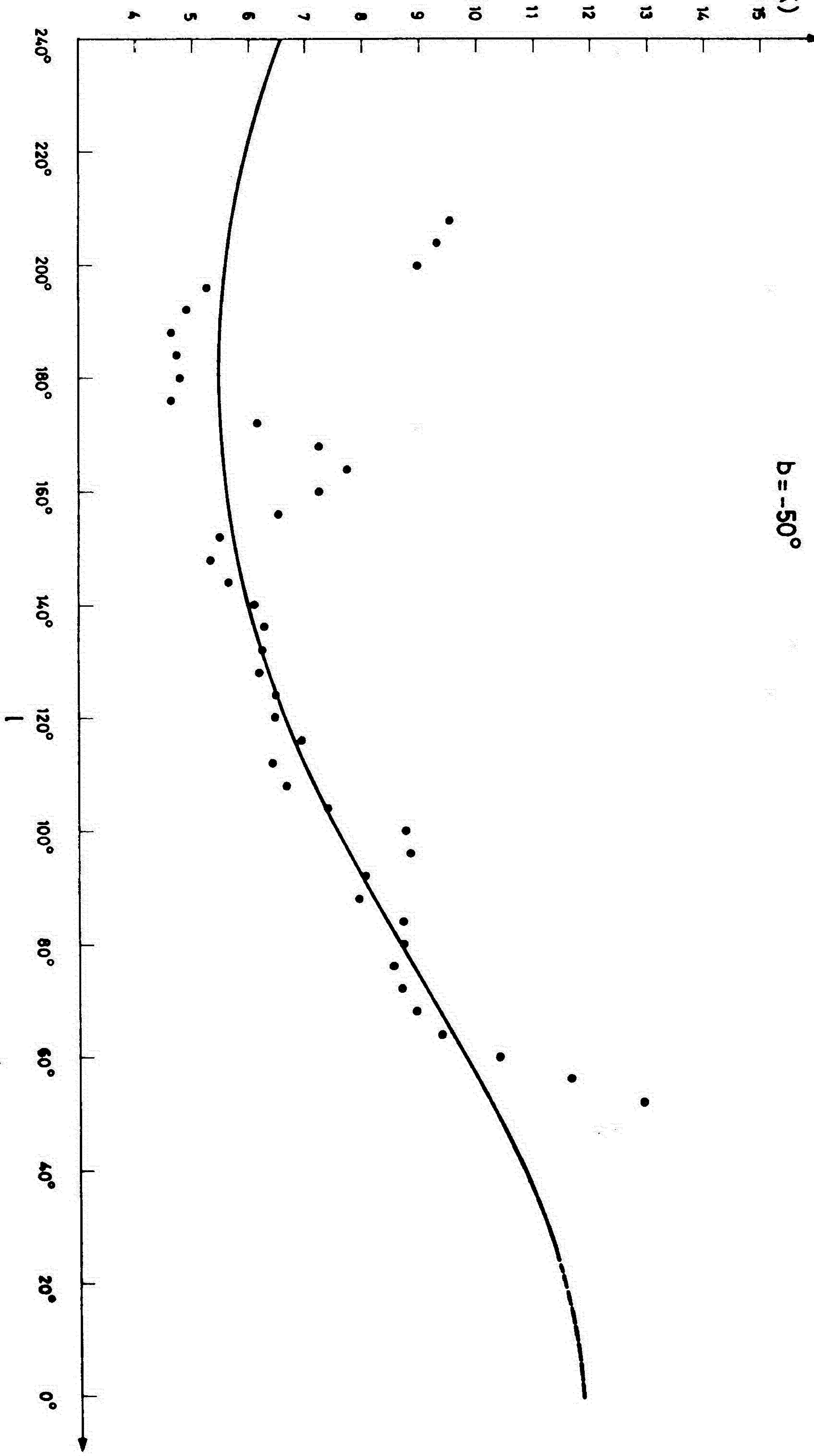
Slika 78. Raspodjela generalisanog Vebsterovog parametra izračunatog iz podataka na 38 MHz i 408 MHz za $\beta_d=2,5$ i odgovarajuća kriva za najbolje podešeni elipsoid poluosa 19,0 kpc x 18,75 kpc, za $b=38^\circ$.



Slika 79. Raspodela generalisanog Vebsterovog parametra izračunatog iz podataka na 38 MHz i 408 MHz za $\beta_d = 2,5$ i odgovarajuća kriva za najbolje podešeni elipsoid poluosa 19,0 kpc x 18,75 kpc , za $b = 66^\circ$.

$T'_g(K)$

$b = -50^\circ$



Slika 80. Raspodela generalisanog Websterovog parametra izračunatog iz podataka na 38 MHz i 408 MHz za $\beta_d = 2,5$ i odgovarajuća kriva za najbolje podešeni elipsoid polusa 19,0 kpc i 18,75 kpc , za $b = -50^\circ$.

$b = 66^\circ$ i $b = -50^\circ$, jer su tipični predstavnici; prva prolazi kroz oblast sa ekstremnim fluktuacijama, dok druga lokalnih fluktuacija malo sadrži. Treća je pak tipični predstavnik južnih oblasti. Parametar T'_g je po nivou podignut za iznos naveden u poslednjoj koloni tablice 8. , kojom se potpuno izbegavaju negativne vrednosti na visokim latitudama.

Na graficima sa slika 78, 79 i 80.

se možda čak i upadljivije no na dvodimenzionoj predstavi (slike 71 , 72 i 73) vidi koliko lokalne fluktuacije T'_g odstupaju od teorijski izračunatih krivih t'_g . Tačke iz ekvatorijalne severne polarne kape označene su praznim kružićima, a dobijene su preračunavanjem sa 404 MHz. Najznačajnija odstupanja se događaju u oblasti hladnih rupa ($l = 240^\circ$ i $l = 190^\circ$) i unutar Petlje I. Na grebenu ($l = 30^\circ$ odnosno $l = 20^\circ$), a naročito unutar njega, teorijska i "posmatračka" kriva se potpuno razilaze. To je onaj isti efekat o kome smo već govorili u vezi dvodimenzione raspodele. Jasno se vidi koliko pri podešavanju elipsoidnog modela haloa utiču nizak spektralni indeks, odnosno nizak generalisani Websterov parametar, u ant centru, a visok za $80^\circ > l > 40^\circ$.

Pojedinačne antenske temperature izmerene u oblasti severne polarne kape se uklapaju u navedene modele u granicama greške.

Bilo bi interesantno imati podatke iste razdvojne moći na bar još jednoj učestanosti da se vidi da li bi se dobio isti efekat promene oblika i veličine elipsoida kao što je to dobio Webster (Webster 1978). Izduživanje elipsoida sa opadanjem učestanosti, koje je on našao, snažan je logički argument u korist haloa, jer je to ono što pobornici haloa očekuju. Medjutim, s obzirom da je Webster imao premalo

podataka na raspolaganju, može se desiti da spljošten oblik haloa, koji je on izveo za $\delta = 35^\circ$ i $\delta = 52^\circ$, bude posledica povećanja spektralnog indeksa severno od Severnog Polarnog Luka uzrokovano napr. samim Lukom, preko dosad neuočenog procesa. Izduženje modela, izvedeno iz pada T'_h na $\alpha \approx 18^h$ $\delta = 69^\circ, 52^\circ, 35^\circ$, manje ubedljivo sledi iz podataka. Sniženje indeksa na $\delta = 35^\circ, 16^h < \alpha < 18^h$ se vidi kao lokalna fluktuacija u karti sa slike 64a. u ovoj tezi, dok je na $18^h, \delta = 52^\circ$ i $\delta = 69^\circ$ na karti sa slike vidljiv sam početak ogromne oblasti niskog indeksa.

5.6.2.3.5. Zaključak o modelu halo - disk - petlje

Izloženi model može zadovoljiti izvedenu raspodelu ukupnih spektralnih indeksa, odnosno, generalisanog Websterovog parametra pod uslovom da se oblast unutar Petlje I, tačnije hladna rupa u Vagi, pokaže drugim merenjima na niskim učestanostima

- 1) ili znatno većeg sjaja no što je izmereno u ovoj tezi na 38 MHz,
- 2) ili da se uspe pokazati da je ta oblast neobično jak apsorber radio-zračenja niskih učestanosti,
- 3) ili da se nadje neko treće objašnjenje za takvo smanjenje sjaja na niskim učestanostima koje ne protivreči prisustvu haloa.

Ostavljajući po strani problem niskog indeksa unutar Petlje I, može se reći da se u ostalom delu neba raspodelu indeksa $\beta(38,408)$ može opisati modelom blago spljoštenog haloa velike poluose skoro dva puta veće no što

je udaljenje Sunca od središta haloa. Stepen slaganja u posmatranoj oblasti je zadovoljavajući u onoj meri u kojoj se moglo očekivati, s obzirom na lokalne izvore emisije i apsorpcije. Sem toga, kako je to istakao Webster (Webster 1978) sferoidni model je geometrijsko uprošćenje stvarnog haloa.

Sem posmatranog unutrašnjeg dela Petlje I, gde je razilaženje najdrastičnije, nije najbolje slaganje ni u oblastima duž ruba karte. To, doduše, verovatno treba shvatiti kao posledicu industrijskih smetnji i precenjen^e jonosferske apsorpcije.

5.6.3. Analiza Brajdlovog modela (Bridle 1967 b)

Prema Brajdlu "ukupan spektralni indeks će imati visoku vrednost u onim oblastima gde anizotropna komponenta malo doprinosi ukupnom zračenju i gde je ukupno zračenje slabo. Konture β i konture temperatura na bilo kojoj učestalosti bi bile savršeno paralelne, kada bi anizotropna komponenta imala isti spektralni indeks svuda. Međutim, takav jednostavan model ne može da objasni sve detalje varijacije spektralnih indeksa po nebu".

Iako Brajdl u ovom radu (Bridle 1967b) izričito ne kaže šta je komponenta visokog spektralnog indeksa, očevidno je da on smatra da je ona ta koja daje visok indeks u oblasti gornje rupe. Odatle sledi da će visoki indeks da se pojavljuje svuda gde je temperatura niska. To je, kao što smo videli, netačno. Na tu ideju navela ga je greška u njegovim posmatranjima, za koju je pokazano u 5.5. da postoji, i nedovoljan

broj podataka.

Suštinski, Brajdlov model je preteća Vebsterovog modela haloa, pa se stoga sve opaske, koje su prethodno iznete, odnose i na njega.

5.6.4. Model petlji

5.6.4.1. Osnovna ideja modela

Model petlji polazi od toga da su najbitnije osobine raspodele spektralnih indeksa prouzrokovane procesima vezanim za petlje, pri čemu preovladjujuću ulogu u tome ima Severni Polarni Luk, odnosno Petlja I. Halo u tom modelu ili je veoma slab, ili čak ne postoji. Disk koji je odgovoran za raspodelu u anticentru može, ali i ne mora, da se sastoji od superponiranog zračenja dalekih petlji. Slabe bliske petlje odnosno lukovi, u principu, se mogu očekivati na raspodeli ukupnih spektralnih indeksa, ali su izgleda u najvećem broju slučajeva, preslabi za ovaj pregled neba.

5.6.4.2. Analiza modela

Severni Polarni Luk u modelu petlji, kako ga je autor ove teze zamislio, je povezan i sa oblašću srazmerno nižeg spektralnog indeksa na grebenu Luka i sa oblašću visokog spektralnog indeksa severno od grebena, odnosno strmog gradijenta Severnog Polarnog Luka. Relativno niži spektralni indeks na grebenu bi bio rezultat superpozicije srazmerno slabe pozadine

i samog Luka. Visoki spektralni indeks u oblasti severno od Luka bio bi uzrokovan procesom vezanim za Luk, a o čijoj prirodi ništa, za sada, ne znamo. Oblast izuzetno niskog spektralnog indeksa unutar Petlje I, bio bi deo gde gledamo kroz najtanji deo sferne ljuske. U njoj bi preovladjivala raspodela slična disku sa slabim udelom Petlje I. Veoma slabo zračenje u tom pravcu predviđa i model ostatka supernove, koji je izračunao Spoelstra (Spoelstra 1972).

U tom modelu možemo očekivati da će oblast visokog indeksa da se javi i na drugim delovima Petlje I, mada ne obavezno na isti način. Pojava asimetrije između raspodele visokih spektralnih indeksa na severnoj i južnoj galaktičkoj hemisferi je možda s tim povezana. Asimetrija srazmerno dobro sledi mali krug paralelan sa Petljom I, mada ne i izvrsno. Oblast visokih indeksa je povučena na jugu ka manjim longitudama kao što se to događa i sa malim krugom Petlje I. Kao argumenat u prilog ovom modelu može izgledati i nepodudaranje izračunatih vrednosti po modelu halo - petlja - disk sa posmatranim. Medjutim, tako se ne može postupiti, jer mi nismo sada u stanju da damo bolje slaganje pomoću modela petlje. Ako bi oblast visokog indeksa severno od Severne Polarne Petlje bila povezana sa Lukom nalik na udarni front, koji je spoljna odbojnica, onda bi visoki indeks bio samo na spoljnoj strani sferne ljuske Petlje I.

Indeks oblasti iza i ispred Luka bi u ovom modelu morao biti manji od onog severno, ali ne i toliko, da bude jednak indeksu diska. Ovo stoga, jer bi u slučaju da proces koji visoki indeks izaziva ima sfernu simetriju, i u pravcu grebena bilo nešto materije koja bi imala visoki indeks. Iz geometrijskih razloga te materije u pravcu grebena treba

da bude manje no u pravcu tangencijalnom na sferu, pa prema tome, i doprinos povišenom spektralnom indeksu bi trebalo da bude manji. Manje vrednosti T_i bi prema jednačini pak dale manje T_s . Postoji, doduše, mogućnost da se ovaj model dopuni haloom, koji bi povisio doprinos oblasti iza Petlje. Jedina ozbiljna smetnja tome je nemogućnost tumačenja oblasti niskog indeksa, ako sjajniji halo postoji.

O procesu koji bi mogao dovesti do stvaranja oblasti visokog indeksa trebalo bi napraviti celu studiju, što izlazi iz okvira ove teze, jer u potpunosti zadovoljava uslov da bude posebna teza. Možda geometrijski razlozi i neće da se pokažu tako važnim, ako bi proces veoma zavisio od magnetnog polja.

Ideju da oblast severno od Severnog Polarnog Luka mora biti povezana sa njim je zastupala još početkom sedamdesetih godina Berkhuisenova (Berkhuijsen 1971), na osnovu izučavanja veze stepena polarizacije i intenziteta zračenja na 820 MHz. Sličan zaključak sledi i iz analize karte vektora polarizacije u oblasti Severnog Polarnog Luka (Bingham 1967). I sam Webster se u svom prvom radu o spektralnim indeksima (Webster 1974) i u tezi (Webster 1971), priklanjao ideji da je "kako je $\delta = 40^\circ$ znatno severnije od sjajnog grebena Luka, izgleda veoma moguće da je ta anomalna oblast povezana sa Lukom".

Berkhuisenova (Berkhuijsen 1971) je imala ideju da između $l = 20^\circ$ i $l = 30^\circ$ i $17^\circ < b < 43^\circ$ postoji oblast razredjenog H II velikih ugaoih dimenzija. Taj jonizovani vodonik po njenom mišljenju izaziva račvanje T-T grafika koje je ona zapazila. Prisustvo tog H II bi moglo da protumači sniženje ukupnog spektralnog indeksa na grebenu Luka ako bi tog gasa bilo dovoljno. Medjutim, protivurečnost je u tome,

što ni najsavremenija optička merenja H II (Sivan 1974) njegovo prisustvo ne pokazuju. Vrednost emisione mere, koju je izračunala Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971), uzgred, sigurno nije tačna, jer je ona pošla od informacije da na 10 MHz postoji apsorpcija na grebenu Luka, što je u ovoj tezi (6.4.4), neosporno pokazano netačnim. Apsorpcija na delu grebena koji je posmatrao Kasvel (Caswell 1976) na 10 MHz, nije vidljiva, što je jak argument protiv H II na grebenu Luka.

Sem toga, u Glavi 6. je pokazano da račvanje tipa kakvo je Berkhuijsenova dobila može da potiče i od drugih uzroka. Šta više, kako sledi iz modela opisanih u Glavi 6, jonizovani vodonik na samom grebenu Luka bi dao nešto drugačije efekte od posmatranih.

Posmatračko pobijanje hipoteze o jonizovanom vodoniku duž grebena je moguće preko posmatranja Luka na učestanstima ispod 10 MHz veće razdvojne moći, i optičkim posmatranjima još veće osetljivosti. Prisustvo jonizovanog vodonika duž grebena bi se u principu moglo uklopiti u ovaj model, ali njegovo prisustvo ne izgleda ni najmanje sigurno.

Visok spektralni indeks za $l > 160^\circ$ duž ivice karte je možda posledica netačnih merenja, zbog blizine tla. Zbog toga teškoće oko njenog uklapanja u model petlji mogu i da se ne shvate ozbiljno.

Iako krug Petlji (V + VI) prolazi kroz deo visokog indeksa, autor je mišljenja da je ta petlja preslabog intenziteta da bi izazvala tako jak efekat na spektralni indeks i polarizaciju.

Autor je do modela petlji i shvatanja da Severni Polarni Luk bitno utiče na raspodelu spektralnih indeksa došao

samostalno. Tek kasnije je našao slične, ali ne iste ideje u Websterovoj tezi (Webster 1971), koje je on kasnije napustio.

Autor ove teze se slaže sa Websterovim argumentima da spoljno-unutrašnja asimetrija spektralnog indeksa u oblasti Severnog Polarnog Luka govori u prilog dinamičkoj teoriji prema kojoj se Petlja I širi. To je potvrđeno kasnijim posmatranjima (e.g. Heiles 1976 a). Autor ove teze priznaje i Websterove argumente da elektroni, koji zrače severno od Severnog Polarnog Luka ne mogu imati isti energetske spektar kao i galaktički elektroni. Webster smatra da bi to mogli biti elektroni haloa, jer bi se to moglo očekivati kada bi halo postojao. Međutim, po mišljenju autora ove teze, postojanje jakog haloa nije izvesno. Možda su uslovi, u frontu između materijala koji se širi i gasa koji je oduvan, takvi da su visoko energetske elektroni tu prvo ubrzani, a zatim ističu i zrače kao što je to Webster nabacio kao manje verovatnu mogućnost. U ovom momentu je autoru ove teze teško reći nešto više.

5.6.5. Model sinhrotronskog zračenja u lokalnom magnetnom polju

5.6.5.1. Osnovna ideja modela

U ovom modelu se polazi od toga da je raspodela spektralnih indeksa uslovljena usmerenom komponentom lokalnog galaktičkog magnetnog polja, u kome se kreću relativistički elektroni prelomljenog spektra. Pošto danas pouzdano znamo iz posmatranja u radio-području, da je deo magnetnog polja u

Sunčevoj okolini uredjen u pravcu spiralne strukture i da je spektar kosmičkih elektrona zalomljen tako da koleno leži oko $4 \times 10^{-10} \text{ J}$ (3 GeV), za očekivanje je da efekat, o kome je reč, ima bar neki udeo u stvaranju raspodele spektralnih indeksa. Iako je autor pokazao da taj udeo ne može biti značajan, on iznosi i ovaj model radi kompletnosti, zajedno sa diskusijom njegovih dobrih i loših strana. Ovo pogotovu što ovakav kompletan prilaz autor nije nigde našao izložen. On bi mogao biti koristan i za probleme druge vrste.

Hipotezu o spektralnim razlikama izazvanim istim elektronima u raznim magnetnim poljima, diskutovali su u svojim tezama i Brajdl i Webster (Bridle 1967a, Webster 1971) ali je njihov prilaz drugačiji i domet analize znatno manji. Autor ove teze je svoj model razvio potpuno nezavisno.

5.6.5.2. Teorijski prilaz problemu

Kao što je poznato (napr. Ginzburg and Syrovatskii 1965) spektralna raspodela snage ukupnog zračenja relativističkog elektrona, koji se kreće u homogenom magnetnom polju H je

$$p(f) = \frac{\sqrt{3} e^3}{mc^2} H_{\perp} \frac{f}{f_c} \int_{f/f_c}^{\infty} K_{5/3}(\eta) d\eta,$$

što se ponekad piše i kao

$$p(f) = \frac{\sqrt{3} e^3}{mc^2} H_{\perp} \frac{f}{f_c} F\left(\frac{f}{f_c}\right).$$

U tim jednačinama $K_{5/3}(\eta)$ je modifikovana Beselova funkcija, f_c je tzv. kritična učestanost, a H_{\perp} komponenta magnetnog polja upravna na pravac kretanja elektrona, odnosno na njegovu brzinu. Sama kritična učestanost zavisi od H_{\perp} , i oko tri puta je veća nego učestanost maksimuma spektralne raspodele zračenja elektrona energije E . Ona je

$$f_c = \frac{3e}{4mc} H_{\perp} \left(\frac{E}{mc^2} \right)^2 = \frac{1}{0,29} f_{\max}$$

U S I sistemu $f_c = 1,8 \times 10^{48} H_{\perp} E^2$

gde su veličine date ovako: f_c MHz, H_{\perp} Tesla, E Joula.

U radio-astronomskom području $H_{\perp} = 10^{-9} \div 10^{-10}$ T, dok je $E/mc^2 \sim 10^3 \div 10^5$, što je tipično ultrarelativistički slučaj.

Račun pokazuje da se na učestanostima većim od f_c izračuje zanemarljivo malo snage. S obzirom da je za $f < f_{\max}$ kriva snage veoma strma, to znači da se najveći deo energije oko f_c izračuje. Zato se često f_c i f posmatranja izjednačuju.

Iz navedenih jednačina sleduje da će za malo H_{\perp} , tj. za elektrone čija je komponenta brzine paralelna magnetnom polju mala, biti: mali nagibni ugao θ ($H_{\perp} = H \sin \theta$), niska kritična učestanost f_c i srazmerno mala izračena snaga.

Kada mi posmatramo radio-teleskopom, mi zapažamo sinhrotronsko zračenje onih elektrona čiji je nagibni ugao jednak uglu između pravca vizure i magnetnog polja. To znači, da u datom pravcu mi vidimo zračenje svih onih elektrona koji imaju istu orijentaciju u odnosu na magnetno polje, odnosno, isti nagibni ugao. Prema tome, gledajući duž polja mi ćemo videti elektrone sa veoma malim nagibnim uglom ($\theta = 0^\circ$), koji će

malo zračiti i to uglavnom na niskim učestanostima. Gledajući upravno na polje, primaćemo jače zračenje, uglavnom na višim učestanostima.

Posmatrajmo sada realnu situaciju gde elektroni slede određenu raspodelu po energijama.

Kada bi raspodela elektrona po energijama sledila jednostavan stepeni zakon da je broj elektrona $N(E)$ sa energijama između E i $E + dE$

$$N(E) = K E^{-\gamma} dE, \text{ za } E_1 < E < E_2,$$

tada bi izračena snaga tih elektrona bila

$$P(f, \theta) \propto H_{\perp} \int_{f/f_1}^{f/f_2} f^{\frac{\gamma-1}{2}} \left(\frac{f}{f_c}\right)^{\frac{-(3-\gamma)}{2}} F\left(\frac{f}{f_c}\right) d\left(\frac{f}{f_c}\right),$$

gde su f_1 i f_2 kritične učestanosti koje odgovaraju energijama E_1 i E_2 .

S obzirom da je realni energetska spektar elektrona zalomljen, broj elektrona sa višim energijama je manji no onaj koji bi sledio po jednostavnom stepenom zakonu. To znači, da se opseg mora podeliti na dva dela: ispod i iznad kolena u energetskom spektru (E_k).

Za dati pravac iz koga stiže sinhrotronsko zračenje H_{\perp} je fiksna količina koja će time davati fiksno f_c i $P(f, \theta)$. Ako je H_{\perp} veliko, tj. nagibni ugao veliki, mi ćemo, pošto je $1 < \gamma < 3$ u radio-astronomskom području, imati i da je $P(f, \theta)$ veće nego za malo H_{\perp} . Sem toga koleno u energetskom spektru, koje se javlja na E_k , zbog srazmernosti sa H_{\perp} zapažaće se na nižim učestanostima kada posmatramo pod

malim nagibnim uglovima no na većim (slika 81).

Za dve izabrane učestanosti posmatranja (napr. 38 MHz ili 404 MHz) spektralni indeks će biti manji ako je izveden gledajući magnetno polje pod većim uglom (oblast I), no ako se gleda duž polja (oblast II), kao na slici 82.

Iako ne postoji jedinstveno gledište o tačnom pravcu usmerene komponente lokalnog magnetnog polja, jer se vrednosti dobijene raznim metodama znatno razlikuju (e.g. Heiles 1976), ipak može se reći da je ono usmereno ka oblasti Labuda.

Galaktička longituda verteksa magnetnog polja prema posmatranjima oko 6000 bliskih zvezdi iznosi oko 80° (e.g. Heiles 1976) dok nedavnih 476 merenja Faradejeve rotacije vangalaktičkih tela (Simard-Normandin and Kronberg 1979), daju l_H nešto veće od 90° . Galaktička latituda je u svim slučajevima praktično nula.

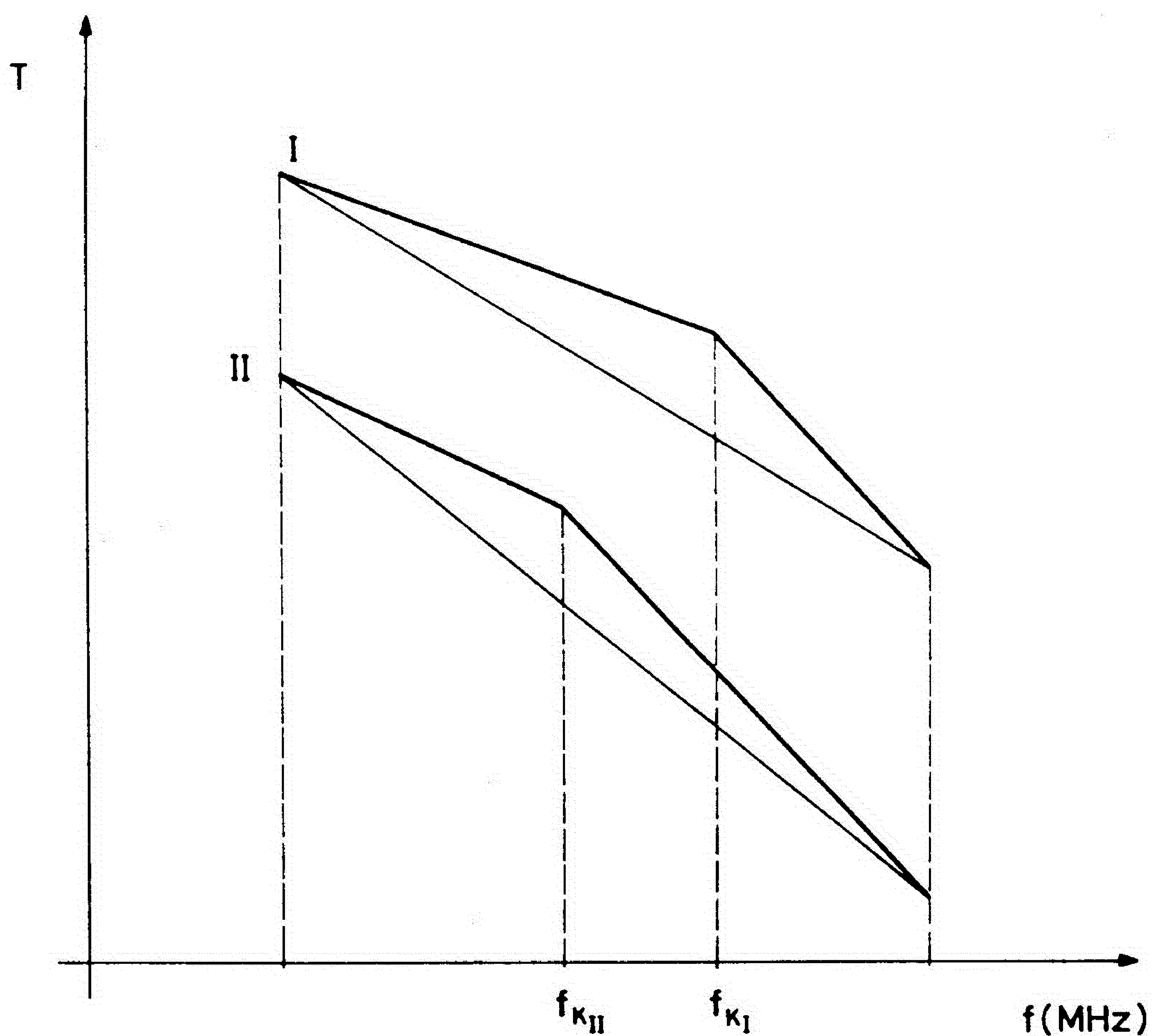
Ako usvojimo 90° kao longitudu pravca magnetnog polja, onda bismo očekivali ovakav raspored spektralnih indeksa

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| nizak | visok | nizak | visok | nizak |
| 360° | 270° | 180° | 90° | 0° |

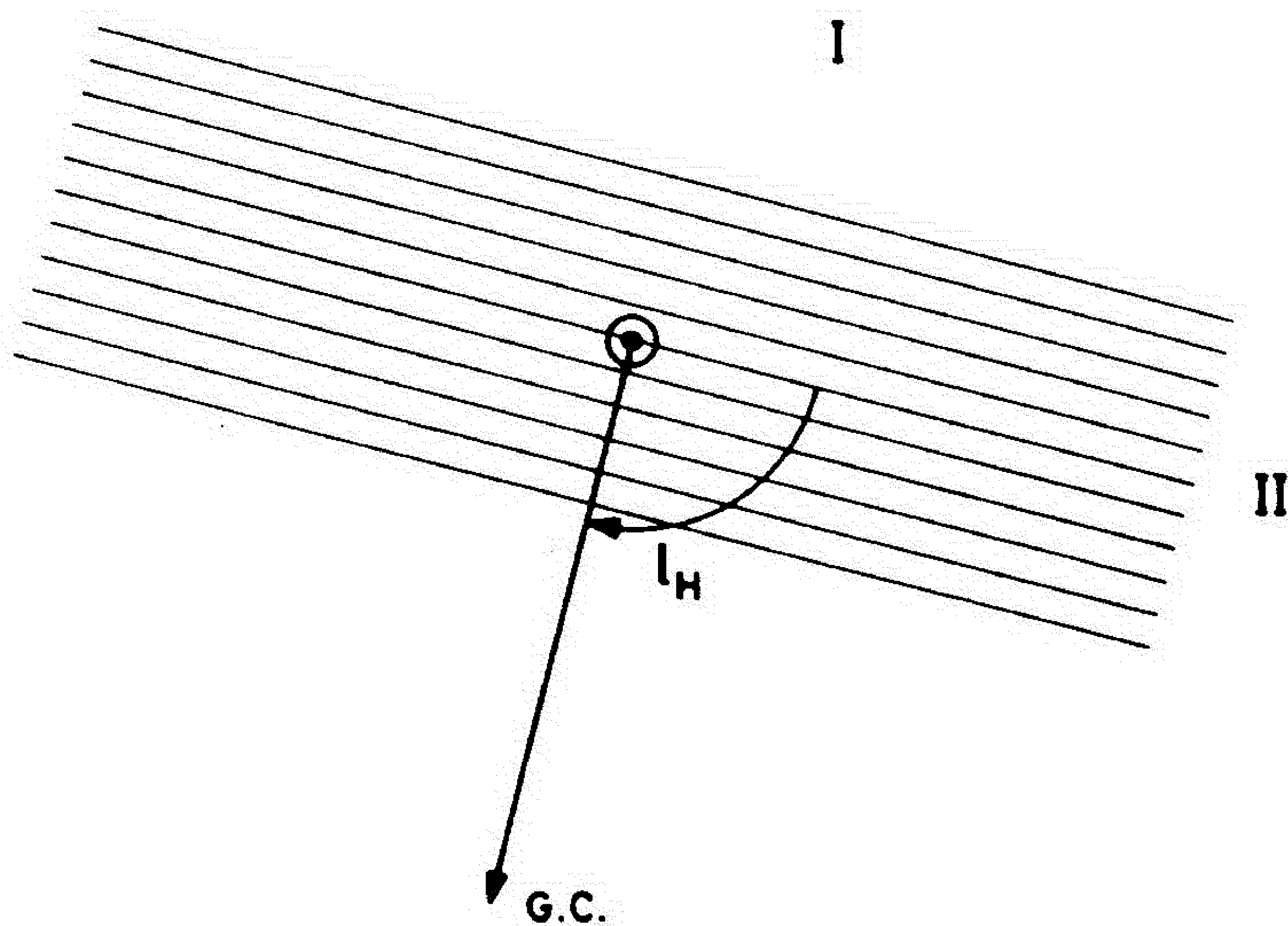
U pravcu galaktičkih polova očekivali bismo nizak spektralni indeks. Doduše, on ne bi bio tako nizak kao u pravcu $l = 0$ i $l = 180^\circ$ ukoliko postoji slabljenje magnetnog polja sa udaljenjem od ravni Galaksije.

S obzirom na lokalna odstupanja magnetnog polja, u realnom slučaju bi ta pravilnost bila manje izražena no u idealnom slučaju.

Iz ove hipoteze takodje sledi da će za tri učestanosti (napr. 17,5 MHz, 81,5 MHz i 408 MHz) rasporedjene neke



Slika 81. Temperaturski spektar sinhrotronskog zračenja elektrona iste energetske raspodele ali u raznim magnetnim poljima.



Slika 82. Shema magnetnog polja u okolini Sunca.

iznad kolena (408 MHz), neke ispod kolena (17,5 MHz, 81,5 MHz), moći da se uoči razlika u učestanostima kolena zbog razlike u H_{\perp} . Spektralni indeks između dve učestanosti, koje premošćuju koleno, biće strmije u slučaju slabijeg polja, no u slučaju jačeg polja, i ta razlika treba da bude osetna, za razliku od slučaja gde su obe učestanosti sa iste strane kolena.

Dve učestanosti, koje su korišćene u ovoj tezi, mogle bi spadati u slučaj premošćavanja. Doduše, prema Vinjajkinjoj (Vinjajkin 1978), 408 MHz bi mogla da bude prelomna učestanost za oblast niskog indeksa severno od oblasti visokog indeksa oko Luka. Međutim, autor ove teze smatra da je Vinjajkinova interpretacija Websterovih posmatranja (Webster 1974), preslobodna.

5.6.5.3. Analiza hipoteze kroz posmatračke podatke

Pre svega ono što pada u oči to je da periodičnost slična predskazanoj postoji na posmatranom delu neba. Nizak indeks za $l < 40^{\circ}$, $b > 10^{\circ}$, mogao bi odgovarati slučaju gde je magnetno polje skoro upravno na pravac vizure, visok indeks za $l = 60^{\circ}$, $|b| > 10^{\circ}$ slučaju gde je gledano duž polja, nizak indeks za $140^{\circ} < l < 220^{\circ}$, $|b| < 80^{\circ}$, odgovarao bi polju skoro upravnom na pravac posmatranja, a visok indeks za $l > 220^{\circ}$ (isključujući rupe) odgovarao bi slučaju gde gledamo duž polja. Srednje visok indeks u pravcu severnog galaktičkog pola mogao bi se protumačiti opadanjem polja sa visinom nad galaktičkom ravni. Ovakvo globalno ponavljanje visokih i niskih indeksa je i bio razlog zašto se uopšte u ovoj tezi o ovoj hipotezi razmišljalo.

Medjutim, nije dovoljno imati polovinu neba da bi se takva zakonitost sigurno utvrdila. Neophodno je, pre svega, znati šta se događa za $-90^{\circ} < \delta < -25^{\circ}$, da bi se pouzdano tvrdilo da periodičnost β postoji. Za tako što sada ne postoji posmatrački materijal odgovarajućeg kvaliteta.

Visok indeks duž ivice karte za $l > 160^{\circ}$ može da bude jednostavno posledica previsokih temperatura na 38 MHz. Nizak indeks unutar Petlje I, kao što je već više puta rečeno, može biti vezan za razne druge pojave.

Visok indeks ne leži baš tako u pravcu magnetnog polja, kako bi se očekivalo. Oblast indeksa je znatno bliža centralnim oblastima, no verteks magnetnog polja. Taj pomak od nekoliko desetina stepeni na nekim latitudama je suviše veliki da bi se zanemario. Iako se fluktuacijama magnetnog polja oko srednje vrednosti može pripisati ono što ostaje posle izdvajanja oblasti ostrva najvišeg indeksa centriranih na $(l, b) = (70^{\circ}, 30^{\circ})$ i $(50^{\circ} - 50^{\circ})$, nema podataka iz drugih merenja magnetnog polja, koji bi na takav pomeraj ukazivali (e.g. Simard-Normandin and Kronberg 1979).

Nema podataka ni o takvom opadanju magnetnog polja sa z koje bi dalo spektralni indeks pola za 0,6 višlji no u pravcu anticentra.

Najjači argument protiv ove hipoteze jeste činjenica da je u oblasti severnog ekvatorskog pola, spektralni indeks isto tako nizak kao u anticentru, iako bi se za $l = 90^{\circ}$ moralo posmatrati povećanje indeksa prema ovoj hipotezi.

Može se očekivati da je posmatrana raspodela spektralnih indeksa rezultat više faktora, tako da je, sem lokalnog magnetnog polja, tu prisutan i halo koji bi povisio indeks u pravcu polja svojim sopstvenim visokim indeksom, nadvladavajući

doprinos srazmerno tankog sloja iznad nas, koji pripada našem lokalnom spiralnom ogranku.

Činjenica da se visoki spektralni indeks halo ne očekuje u rupama u anticentralnoj hemisferi, mogao bi se pokušati protumačiti time, da je halo u tim pravcima suviše slab. Razlika u debljini sloja u pravcu rupa na $\ell = 40^\circ$, $l = 195^\circ$ i galaktičkog pola je prema sfernom modelu oko 6 kpc, što iznosi oko 1/5 najveće moguće debljine sloja sferoidnog haloa (19,00, 18,75) koji je izveden u odeljku 5.6.2.3.3.

Medjutim, uvodjenjem haloami se opet susrećemo sa problemom rupe u Vagi (Škorpiji). U tom pravcu sferoidni halo (19,00; 18,75) je celih 16 kpc duži, no u pravcu hladne rupe u Raku (195° , 40°), pa odsustvo visokog indeksa tu znači jak kontra-argument kombinaciji haloa i magnetnog polja.

Webster je u svojoj tezi (Webster 1971), uvodeći pojam aspekta, pokazao na Brajdlovim podacima da izvedena vrednost aspekta za parove učestanosti (17,5, 81,5) i (81,5, 408) u oblastima anticentra i medju granama nedvosmisleno govori protiv hipoteze da je razlika u spektralnim indeksima tih oblasti uzrokovana razlikom u H_{\perp} uz elektrone istog energetskeg spektra.

Kvantitativnu procenu očekivanog efekta prelomljenog spektra na spektralne indekse nije moguće za sada zadovoljavajuće izvesti. I kada bi pouzdano znali E_k , prilikom prevodjenja sa energetskeg spektra elektrona na temperaturni spektar radiozračenja, potrebno je znati magnetno polje koje nije dovoljno tačno poznato za tu svrhu. U stvarnosti, najpouzdaniji indikatori o prelomu u spektru elektrona nisu neposredna merenja energije kosmičkih elektrona, već upravo radio-astronomska posmatranja. A o njihovoj tačnosti u tom problemu je već bilo

5.6.6. Zaključci o mogućnosti tumačenja raspodele spektralnih indeksa

5.6.6.1. Opšti zaključci o modelima

Izvedena raspodela ukupnog spektralnog indeksa β (38, 408), pa i generalisanog Websterovog parametra, bi se najpre mogla protumačiti pomoću modela petlji, a ponajmanje preko modela lokalnog magnetnog polja, u kome se kreću elektroni prelomljenog spektra. Ni model haloa ne zadovoljava i pored svoje logične strukture. Jednostavno, posmatrački podaci izbacuju na prvo mesto po uverljivosti upravo model petlji.

Za razliku od modela haloa, na kome je dosta radio Webster (Webster 1978) i Strong (Strong 1977), model petlji za sada čeka svog teoretičara. Model lokalnog magnetnog polja teoretski mnogo više, od ovde iznetog, nema za sada smisla razradjivati. Efekti koje taj model daje su zanemarljivi u poredjenju sa petljama, kako posmatranja pokazuju.

Sa svoje strane i rezultati izloženi u Glavi 6., a koji se odnose na diferencijalni indeks, podupiru hipotezu petlji.

Iako mnogo argumenata govori u prilog modela petlji, "krunski svedok" je oblast niskog spektralnog indeksa u Vagi. O njoj i o još nekim važnim posmatračkim podacima, autor je smatrao da treba da dâ detaljnu analizu.

5.6.6.2. Analiza realnosti ključnih oblasti

Tokom rada na interpretacionim modelima autorove teze je došao do zaključka da je bitno za tumačenje da li se smatra da je:

- a) oblast niskog spektralnog indeksa oko $l = 8^\circ$,
 $b = 38^\circ$ (u Vagi i Škorpiji) realna,
- b) asimetrija oblasti visokog spektralnog indeksa za
 $b > 10^\circ$, $l < 90^\circ$ realna,
- c) vrednost spektralnog indeksa u oblasti polarnih kapa srazmerno niska.

Redosled izloženih uslova je redosled njihove važnosti.

O realnosti tih oblasti na pregledu $\beta(38, 408)$ i $\beta(38, 404)$ je već bilo govora u okviru njima odgovarajućih odeljaka.

Pokazano je da eventualna netačna procena jonosferske apsorpcije ne bi dovela do presudne promene raspodele spektralnih indeksa.

Navedeno je da se vrednosti spektralnih indeksa severnog galaktičkog i ekvatorskog pola veoma dobro slažu sa vrednošću koja je očekivana na osnovu merenja drugih autora.

Pokazano je da i u merenjima, koja su izvršili Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971) i Webster (Webster 1974), pa i prema ispravljenoj karti Brajdla (5.5.6.5.), ima elemenata koji pokazuju da je spektralni indeks južno od Severnog Polarnog Luka niži, no severno od njega.

Dokazano je da ni neuočene industrijske smetnje na

38 MHz ne bi mogle dati nizak spektralni indeks južno od Severnog Polarnog Luka.

Procenjeno je da jedini rezultat koji ukazuje na visok spektralni indeks u toj oblasti (Landecker 1969) nije pouzdan, zbog teškoća u apsolutnim merenjima na dve bliske učestanosti.

Na sve to još treba dodati sledeće nove činjenice, koje govore u prilog niskog spektralnog indeksa južno od Severnog Polarnog Luka.

Prva činjenica je da sniženje spektralnog indeksa u toj oblasti nikako ne može biti posledica apsorpcije od strane HII, jer je u tom delu zračenje veoma slabo na svim učestanostima. Da se tu nalazi oblak H II, on bi na višim učestanostima pojačanom emisijom pokazao svoje prisustvo.

Druga, po mišljenju autora, veoma važna činjenica jeste, da su skoro sve oblasti slabog radio-zračenja u oblasti niskog indeksa β (38, 408). To su gornja i donja rupa blizu severnog galaktičkog pola, u Raku i Hidri; rupa unutar Severnog Polarnog Luka, u Vagi (većim delom); rupa unutar Petlje II, u Vodoliji i rupa blizu Plejada, u Biku (rupa u Perseju prema Hejlesu i Dženkinsu). Rupa u Eridanu odstupa od tog pravila, najverovatnije zbog prevelikog nivoa smetnji na 38 MHz. Rupa unutar Petlje III nije posmatrana na 38 MHz. Sve navedene rupe niskog indeksa bi, prema tome, bili svojevrsni "prozori" u našoj okolini.

Vrednosti indeksa u njima nisu potpuno jednake što može značiti da u nekima od njih, kao što su rupa u Vagi (i Škorpiji), i rupa u Vodoliji, postoji još jedna slaba komponenta višeg indeksa. Tu hipotetičnu komponentu bi najlogičnije

bilo u slučaju rupe u Vagi povezati sa zračenjem Severnog Polarnog Luka. U slučaju rupe u Vodoliji struktura okoline je složenija i poistovećenje stoga teže.

Sličan, ali manje pouzdan rezultat za donju rupu i rupu blizu južnog galaktičkog pola dobio je i Landecker (Landecker 1969).

O tome da bar deo zračenja u Vagi može da ima veze sa Severnim Polarnim Lukom, ukazuju vektori polarizacije radio-zračenja u blizini te oblasti. Oni čine logičan nastavak polarizacije posmatrane na samom grebenu Luka, kako se vidi iz rada Bingama (Bingham 1966), i delom iz rada Spolstre (Spoelstra 1972). Nažalost, nijedan od boljih savremenih pregleda polarizacije ne obuhvata ceo hladan deo unutar Petlje I niti rupu u Vodoliji, u potpunosti. U samim rupama treba očekivati nizak postotak polarizacije, jer je u oblasti Severnog Polarnog Luka nađena linearna zavisnost između temperature sjaja i temperature polarizacije (Bingham 1967, Berkhuijsen 1971). S obzirom da su te rupe prenisko nad horizontom za preciznija merenja na opservatorijama koje su se time bavile, nije ni čudo što su merenja malih vrednosti, u nepogodnim uslovima, izostala. Najviše su u oblasti negativnih deklinacija, $\delta < -10^\circ$, zahvatili Vilebinski i Šejkšaft (Wielebinski and Shakeshaft 1964) na 408 MHz, ali s obzirom da njihova merenja nisu bila potvrđena, a u ponekim delovima (rupa u Vodoliji), čak i protivurečna sa očekivanim, ne možemo ih uzimati kao ozbiljan argument.

Sličan nastavak orijentacije vektora polarizacije vidi se i u hladnoj rupi u sredini Petlje III (Spoelstra 1972) koja je skoro cela posmatrana. Polarizacija je slabija po intenzitetu u rupi. Logično je očekivati, da će i u Petlji I

iti takav slučaj, ako delovi, koji su posmatrani, tome teže.

Optička polarizacija u oblasti hladne rupe u Vagi ima znatne vrednosti (nekoliko procenata), a po pravcu se jeni vektori odlično uklapaju u jedan duži luk (e.g. Mathewson and Ford 1970, Axon and Ellis 1976). Sudeći po obliku on bi mogao biti u vezi sa Severnim Polarnim Lukom. Zvezde kod kojih je izmerena polarizacija u ovoj oblasti leže 100 - 400 pc daleko, sa najvećim brojem između 100 - 200 pc (Axon and Ellis 1976). Optička polarizacija u Vagi je stoga pre argument u korist hipoteze petlji no protiv.

Optička polarizacija u oblasti Vodolije nije mala i pokazuje uredjenost (e.g. Axon and Ellis 1976), čiji uzrok nije jasan. Daljine zvezda su i tu između 100 i 400 pc.

Rotacione mere vangalaktičkih izvora u tim oblastima su male (Simard-Normandin and Kronberg 1979), ukazujući da je komponenta polja usmerena od nas slaba. To bi trebalo očekivati u slučaju da se radi o ostatku supernove, mada se mora reći da to nije jedina mogućnost.

Oblast unutar Severnog Polarnog Luka ima nizak spektralni indeks kao posledicu toga što je na 408 MHz temperatura unutar Petlje I viša no van nje, dok su na 38 MHz te dve temperature skoro iste. Ukoliko bi halo postojao, očekivali bismo obravo obrnuto ponašanje sa učestanošću. Zračenje haloa bi trebalo da bude mnogo jače na niskim učestanostima i u pravcima bližim galaktičkom središtu.

Drugi pregledi neba mahom nisu od koristi za ispitivanje ove nejednakosti, jer najveći broj njih ne pokriva oblast daleko unutar Luka. Oblast hladne rupe je skoro iste temperature kao i oblast van Luka na pregledu visoke razdvojne moći na

38 MHz (Blythe 1957), na 240 MHz (Haslam et al. 1964), ali ne na kompozitnoj karti celog neba na 150 MHz (Landecker and Wielebinsky 1970). Medjutim, ta karta, s obzirom na preklopavanje, koje je upravo u toj oblasti načinjeno, može biti nedovoljno pouzdana. Na karti Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971) na 820 MHz koja ide svega do $\delta = -7^\circ$, oblast unutar Luka je "toplija" no oblast daleko van Luka. To bi i trebalo da bude, sudeći po 408 MHz.

Dean (De Ann 1980) je zabeležio pojačano X zračenje na Grebenu Luka i pad na obema stranama, po tipu sličnije ponašanju zračenja na 408 MHz, nego na 38 MHz. Za sada nije jasno kako ovu činjenicu treba u sklopu problema protumačiti.

Zaključak cele ove analize bi bio da su ključne oblasti i osobine realne. Sa svoje strane to znači da je model petlji onaj koji treba usvojiti.

5.6.6.3. Osvrt na značajnije radove o radio-halou

Kako je već pominjano, radio-halo već skoro 30 godina predstavlja kamen razdora među radio-astronomima. Pobornici radio-haloe su uglavnom bili teoretičari koji su se bavili problemom zadržavanja kosmičkih zrakova. Za njih je radio-halo posledica elektronskog haloe (e.g. Ginzburg and Ptuskin 1976, Ginzburg 1979). U redovima protivnika haloe bilo je najviše radio-astronoma (e.g. Price 1974 and references therein), posmatrača uglavnom.

Pošto rezultati ove teze govore protiv postojanja intenzivnog radio-haloe na 38 MHz, to bi trebalo reći šta je po mišljenju autora pogrešno u radovima koji su podupirali hipotezu radio-haloe.

Pre svega, kako je već opisano, cela grupa radova vezanih za Websterove ideje (Webster 1975, 1978, Sironi and DeAmici 1981, Ninković 1978) je dovela do pozitivnog nalaza u odnosu na radio-halo zbog slučajne koincidencije. Izabrane oblasti su bile takve da su takav zaključak morale nametnuti jer je oblik Severnog Polarnog Luka blizak izofotama hipotetičnog elipsoidnog haloe.

Što se tiče ranijih radova modeliranja haloe Boldvina (Baldwin 1955) and Mills (1959), kako je već istakao Webster (Webster 1975), najveća greška im je bila u tome što su oni previše uprostiti problem haloe i diska. Slično uprošćavanje sadrži i prilaz Ninkovića (Ninković 1978). Uostalom, i sam Baldwin je podvrgao sumnji postojanja jakog radio-haloe (Baldwin 1967). Sumnju je izrazio i Burke (Burke 1967).

Prilaz Ananda sa saradnicima (Anand et al. 1968),

kako je istakao i Webster (Webster 1975) ne može da pruži sada (a možda i nikada) razrešenje problema haloa, jer zahteva tačno poznavanje spektara raznih komponenti zračenja unapred i apsolutna merenja u velikom opsegu učestalosti.

Što se tiče grupe radova sovjetskih teoretičara, koja je vezana za halo, odnosno, spektar galaktičkog zračenja (e.g. Ginzburg 1979, Ginzburg and Ptuskin 1976, Bulanov and Dogiel 1974, 1975, Bulanov et al. 1976, Dogiel et al. 1975).

Njihov ozbiljan nedostatak je to što su se koristili posmatračkim materijalom koji je u suštini nepotpun, a ponegde i netačan (materijalom Brajdla i Websterera, o kome je bilo reči u ovoj glavi).

U radu Sua (Suh 1976) je pak korišćen postupak oduzimanja doprinosa lukova (Severnog Polarnog Luka, Petlje III i Luka Kita), što je veoma nesiguran metod. Po mišljenju autora ove teze on se ne bi smeo koristiti ni za jednu prelomnu odluku. Sem toga, Su je uzimao odnos temperature u anticentru i temperature u severnom galaktičkom polu, što je suviše mali uzorak.

Uopšte, svi ti modeli su se poredili ili koristili sa merenjima male razdvojne moći. Kako je još Vesterhaut (Westerhout 1967) istakao tek kada iz posmatranja veće razdvojne moći budemo u mogućnosti da izdvojimo sve pojedinačne izvore, znaćemo šta ostaje za pozadinu. Vesterhaut je sumnjao da će nešto ostati. U diskusiji sa Vesterhautom tada je i Ginzburg rekao da i magnetna polja manjih razmera mogu da zadovolje zahteve teorije zadržavanja kosmičkih zrakova.

Naravno, pristalicama haloa je krupan argument u prilog činjenica da je kod nekih galaksija posmatran radio-halo. To su NGC 891 (Allen et al. 1978) i NGC 4631 (Ekers and Sancisi 1977).

Medjutim, kod nekih bližih nam galaksija, gde je halo čak i lakše detektovati, kao što je Andromedina maglina, halo ipak nije dosad otkriven (e.g. Van der Kruit 1978). Možda naša Galaksija pripada baš klasi sa veoma slabim, praktično odsutnim radio-haloom.

Pitanje je i šta će posmatranja velike razdvojne moći dati u pogledu znanja o drugim galaksijama.

GLAVA 6.

DIFERENCIJALNI SPEKTRALNI

INDEKSI

6.1. Uvod

Bilo bi nezamislivo da se u današnje vreme uradi studija spektralnih osobina zračenja a da se ne uključe i tzv. diferencijalni spektralni indeksi. U ovoj tezi su diferencijalni indeksi razmotreni i sa teorijske i sa posmatračke strane.

6.1.1. Analitički i vektorski prilaz

Smišljen od strane Kejmbridžske škole, a zatim široko prihvaćen, diferencijalni spektralni indeks β_{Δ} je spektralni indeks one komponente zračenja, čiji je intenzitet različit od tačke do tačke u posmatranoj oblasti. Ta razlika - diferencija zavisi od učestanosti, što omogućava da se anizotropna komponenta odvoji od izotropne komponente.

Odatle sledi da je

$$\frac{dT(f_1)}{dT(f_2)} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{\beta_{\Delta}} = a_{12}.$$

Pošto se a_{12} lako može odrediti iz grafika $T(f_1)$ prema $T(f_2)$, β_{Δ} odatle neposredno sledi. Ti tzv. T-T grafici se crtaju po pravilu tako da se duž apcise nanose temperature na višoj učestanosti (f_2).

Neka su tačke A, A', A'' dobijene posmatranjem u

oblasti gde imamo anizotropnu i izotropnu komponentu (sl. 83). Ova druga je predstavljena vektorom OA, dok je prva data vektorima AA', AA'' i td.

Da bi nagib prave na T-T grafiku davao spektralni indeks anizotropne komponente mora, sem izotropije jedne komponente, da bude ispunjen i drugi uslov - nezavisnost spektralnog indeksa anizotropne komponente od koordinata. U vektorskom predstavljanju prvi uslov znači da je vektor OA konstantan, tj. isti za svaku tačku, dok drugi uslov zahteva da vektori AA', AA'' i td. budu kolinearni.

U početku diferencijalni spektralni indeks je uveden i obradjivan algebarski (e.g. Turtle et al. 1962, Yates and Wielebinski 1966), dok je Webster (Webster 1971) prvi prišao problemu vektorski.

Algebarski iskazano u slučaju dveju komponenti ukupna temperatura T u datoj tački (x, y) na učestanosti f_1 je

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

dok je na učestanosti f_2

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

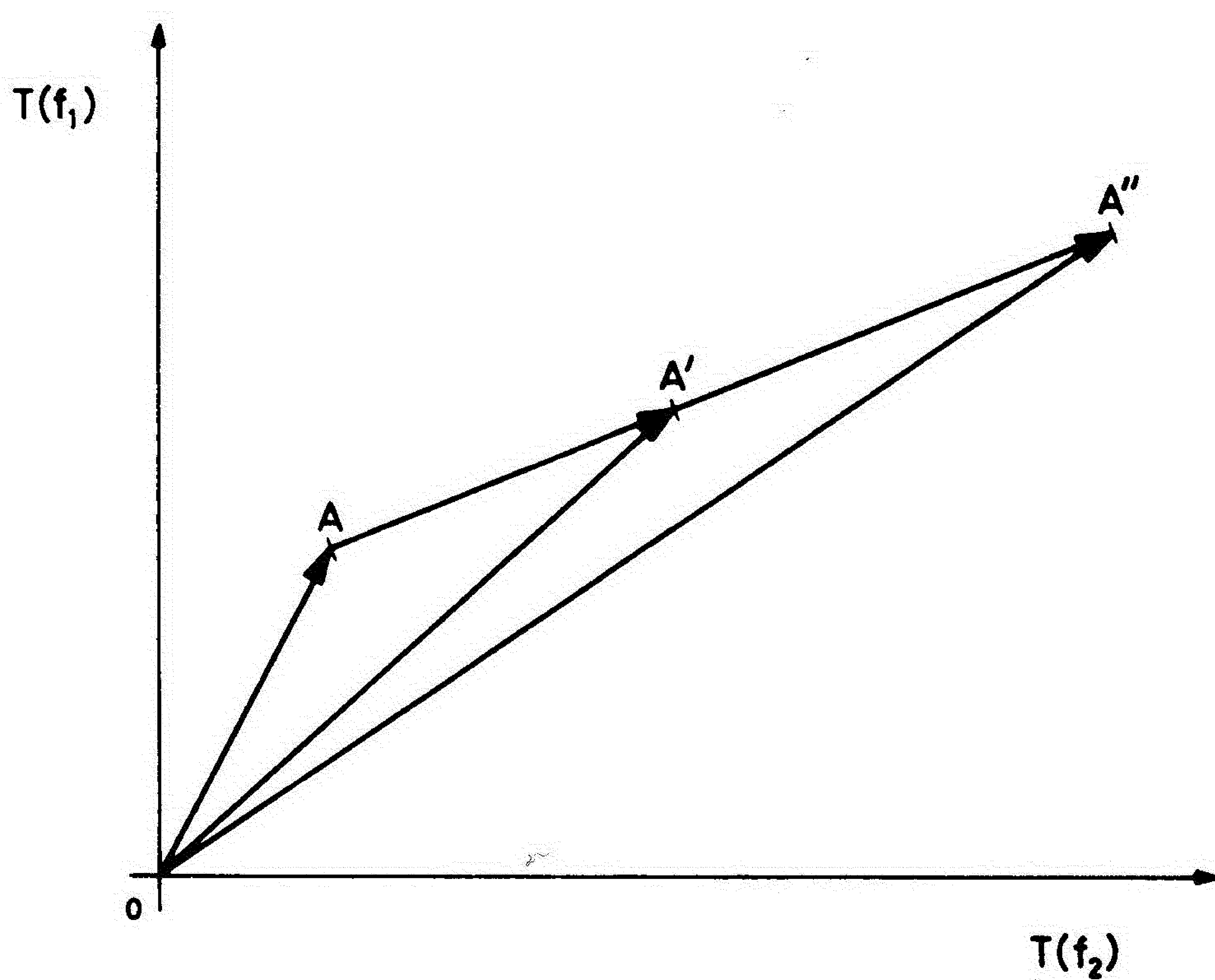
Pošto je

$$\frac{T_i(f_1)}{T_i(f_2)} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{-\beta} i = i_{12},$$

gde je i_{12} konstanta za dati par učestanosti, i ako je

$$\frac{T_a(f_1, x, y)}{T_a(f_2, x, y)} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{-\beta_a} = a_{12},$$

nezavisno od koordinata, to se može pisati da je



Slika 83. Vektorski prikaz $T - T$ grafika preko jedne izotropne i jedne anizotropne komponente.

$$T(f_1, x, y) = a_{12} T_a(f_2, x, y) + i_{12} T_i(f_2),$$

odnosno

$$T(f_1, x, y) = a_{12} \left[T_a(f_2, x, y) + T_i(f_2) \right] + \left[i_{12} - a_{12} \right] T_i(f_2),$$

što je

$$T(f_1, x, y) = a_{12} T(f_2, x, y) + (i_{12} - a_{12}) T_i(f_2).$$

Ovaj izraz predstavlja jednačinu prave u kojoj je nezavisno promenljiva temperatura na jednoj učestanosti, a zavisno promenljiva temperatura na drugoj učestanosti.

U radovima prethodnika, gde su tačke na T - T graficima ležale srazmerno blizu jedna drugoj, diferencijalni spektralni indeks je u praksi dobijan iz nagiba najbolje podešene prave linije metodom najmanjih kvadrata.

Diferencijalni spektralni indeksi dobijeni za više podesno odabranih parova učestanosti omogućavaju da se izvede spektar rasprostrtih objekata nezavisno od pozadine.

Postoji mogućnost da pored jedne anizotropne komponente postoji još jedna, koja na drugi način zavisi od koordinata, a može čak i imati drugi spektralni indeks. Matematičkim jezikom rečeno

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

Neka je

$$\frac{T_a(f_1, x, y)}{T_a(f_2, x, y)} = a_{12},$$

dok je

$$\frac{T_A(f_1, x, y)}{T_A(f_2, x, y)} = A_{12},$$

i

$$\frac{T_i(f_1)}{T_i(f_2)} = i_{12}.$$

Na sličan način, kao i u prethodnom odeljku, dobijamo da je

$$T(f_1, x, y) = a_{12} T(f_2, x, y) + (A_{12} - a_{12}) T_A(f_2, x, y) + (i_{12} - a_{12}) T_i(f_2).$$

U slučaju da je $A_{12} \approx a_{12}$ sa T-T grafika će odsustvovati ta druga komponenta, ma kakva bila njena zavisnost od koordinata.

Medjutim, ako je $A_{12} \neq a_{12}$, analitička analiza postaje mnogo složenija, sem ako je T_A srazmerno slabo.

Na sličan način se može uvesti i treća anizotropna komponenta, pa i više njih.

Svi ti složeniji slučajevi se mogu očiglednije analizirati vektorskim putem, kao što je to autor i učinio u 6.3. Kako je autor ove teze objasnio u ovoj glavi (6.2. i 6.3.), izgleda da se sve ovde navedene varijante anizotropnih komponenti javljaju na radio-nebu.

6.1.2. Veza izmedju oblika T-T grafika i odgovarajućih preseka objekta

Analiza oblika preseka i T-T grafika se nametnula sama autoru ove teze kao bitan deo razumevanja postupka, pa pošto je nije nigde našao izloženu, autor ove teze je smatrao korisnim i potrebnim da je ovde izloži.

Neka je dat latitudni presek posmatranog objekta na dve učestanosti. U slučaju lukova, presek ima dva krila i maksimum. Asimetrija preseka po longitudama će dati različit broj i gustinu raspodele tačaka na gornjoj i donjoj strani petlje T-T grafika.

Eventualna razlika u longitudama maksimuma preseka na dvema učestanostima daće zatupast oblik petlje na T-T grafiku. Odsustvo razlike daće T-T grafik oštrog vrha.

Da bi tačke na jednoj stranici T-T grafika ležale na pravoj liniji potrebno je da se longitudinalni gradijenti na obema učestanostima menjaju srazmerno jedan drugome u posmatranom intervalu. To znači da se krilo preseka na jednoj učestanosti može izvesti dilatacijom iz krila na drugoj učestanosti, uz eventualnu dodatnu translaciju. Matematičkim jezikom rečeno, pošto je prava na T-T grafiku data sa

$$T(f_1, l, b) = a T(f_2, l, b) + m,$$

to je

$$\frac{d T(f_1, l, b)}{d T(f_2, l, b)} = a,$$

gde su za dati T-T grafik veličine f_1 , f_2 i b konstante.

Sa svoje strane longitudinalni gradijenti su po definiciji u opštem slučaju

$$\frac{d T(f_1, l, b)}{dl} = g(f_1, l, b),$$

i

$$\frac{d T(f_2, l, b)}{dl} = g(f_2, l, b).$$

Količnik gradijenata mora biti konstanta

$$\frac{g(f_1, l, b)}{g(f_2, l, b)} = a$$

da bi posmatrani deo T-T grafika bio prav. Što je faktor a veći, prava na T-T grafiku koja joj odgovara je strmija, a odgovarajuće krilo na nižoj učestanosti više .

Iz ovog razmatranja sledi da se paralelnost dveju grana petlje na T-T dijagramu može dobiti iako je na jednom krilu prisutna konstantna komponenta, koje na drugom krilu nema.

U tom slučaju, ako bi osu temperature na jednoj učestanosti (napr. 38 MHz) skratili za isti faktor (oko 400 puta), onda bi krila T(38) i T(408) nacrtana za isti opseg longituda i istu latitudu bila praktično na jednom krilu iste, a na drugom krilu translatorno pomerene za mali iznos (m/a).

Medjutim, ako i na jednom i na drugom krilu postoji po jedna dodatna komponenta, koje su medjusobno različite, onda bi T-T grafik i dalje imao petlju paralelnih strana, koja bi imala drukčiji, veći razmak strana. Pošto mi, gledajući u jedan posmatrački T-T dijagram, ne znamo da li je petlja proširena ili ne, iz same činjenice paralelnosti grana ne možemo zaključiti da li su na oba krila prisutne ekstra komponente nejednake medjusobno. Medjutim, kontrakcija T ose na latitudnim presecima bi mogla pokazati da li je to slučaj. Neka je na desnom krilu

$$T_d(f_1, l, b) = a T_d(f_2, l, b) + m ,$$

a na levom

$$T_l(f_1, l, b) = a T_l(f_2, l, b) + n .$$

Kontrakcija osa za faktor a dovela bi do toga da desno krilo na učestanosti f_1 bude iznad onog na f_2 za $\frac{m}{a}$, dok bi levo krilo na učestanostima f_1 bilo iznad levog krila na učestanostima f_2 za $\frac{n}{a}$. S obzirom da se petlja na vrhu zatvara, to znači da oko maksimuma ekstra komponente nisu prisutne.

U stvarnosti, i jedno i drugo krilo imaju konstantan

član, jer i u član m, i u član n ulaze u istom iznosu zračenje koje dolazi od homogene pozadine vangalaktičkih izvora i reliktno zračenje, koje je uvek prisutno. Da li sem tog postoji još i neki drugi član ili članovi, pitanje je na čijem se odgovoru radilo u ovoj tezi.

U stvarnosti se često javlja slučaj "nagnute pozadine" (vidi 6.2.5.), koji je predstavljao korak dalje u ovoj analizi. Ako je spektralni indeks te anizotropne komponente pozadine blizak indeksu luka, tada će nagnutost preseka na obe učestanosti biti slična. Skraćivanjem ose temperatura na nižoj učestanosti dobili bi skoro preklapajuće nagnute preseke.

6.2. D I F E R E N C I J A L N I S P E K T R A L N I I N D E K S I Z A S N O V A N I N A P R E G L E D U N A 3 8 M H z

6.2.1. Polazni stavovi

Na osnovu materijala kojim je autor raspolagao bilo je moguće odrediti diferencijalne indekse većih rasprostrtih objekata izmedju 38 MHz i 408 MHz (odnosno 404 MHz), dok su u slučaju Severnog Polarnog Luka preduzeti potrebni računi da se odrede i spektralni indeksi izmedju 38 MHz i 10 MHz. pomoću podataka koje su sa pregleda na 10 MHz (Caswell 1976) na razdvojnju moć od $7^{\circ},25 \times 8^{\circ},25$ konvoluirali Haslam i Solter (Haslam and Salter 1978), uz saglasnost Kasvela.

Radi odredjivanja diferencijalnih spektralnih indek

u ovoj tezi unete su novine u praktični postupak. Te novine su bile uvedene zbog osobenosti posmatračkog materijala na 38 MHz, i zbor predloženog modela T-T grafika. Nov postupak se sastojao u tome, što se diferencijalni indeks izračunavao iz nagiba srednje linije kroz T-T grafik, a ne kako su to prethodni autori radili, podešavanjem prave linije metodom najmanjih kvadrata. U suštini, tamo gde su T-T grafici uski, oba postupka daće praktično isti rezultat. Medjutim, u slučaju širokih, otvorenih petlji kakve su dobijene u ovoj tezi, i to naročito u važnom slučaju Severnog Polarnog Luka, stari i novi postupak daće razne rezultate.

Uzroci osobenosti T-T grafika iz ove teze podrobno su analizirani u poglavlju 6.3.5. Ta analiza je pokazala da je korišćenje srednje linije koja je paralelna stranicama najpouzdaniji postupak za određivanje indeksa. Sem toga, prema predloženom tumačenju grafika, iznetom u 6.3.3. i 6.3.4., nagib stranica je veličina koja ima fizički smisao, i koja bi trebalo da daje spektralni indeks objekta. Ta analiza je pokazala i kako bi trebalo postupiti u izračunavanju i tumačenju diferencijalnih spektralnih indeksa.

6.2.2. Diferencijalni spektralni indeks Severnog Polarnog Luka izmedju 38 MHz i 408 MHz

Diferencijalni spektralni indeks Severnog Polarnog Luka izmedju 38 MHz i 408 MHz izračunat je iz nagiba srednjih pravih latitudnih T-T grafika za koje su korišćene antenske temperature. Pri tome, podaci na 38 MHz nisu bili popravljani za uticaj jonosferske apsorpcije i s njom vezanih efekata, jer

je autor smatrao da u tom delu gde je apsorpcija ispod 5%, korekcija više šteti nego koristi.

T(38) - T(408) grafici su nacrtani za sve tabularne latitute svakih 4° , od $b = 22^{\circ}$ do $b = 74^{\circ}$.

Svi T-T grafici su pokazali veoma izražen "kvazi-histerezis", sličan onome koji je uočila Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971) između 240 i 820 MHz, s tim što su ovde po pravilu petlje šire, a donji delovi petlje otvoreni. Stranice petlje su po pravilu skoro paralelne među sobom, što je takodje efekat uočen od strane Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971). Donjoj strani petlje odgovaraju longituda manje od 1 grebena. T-T grafici dobijeni ovde ne vrhune na istoj longitudi zbog nepodudarnosti položaja grebena na ovim dvema učestanostima.

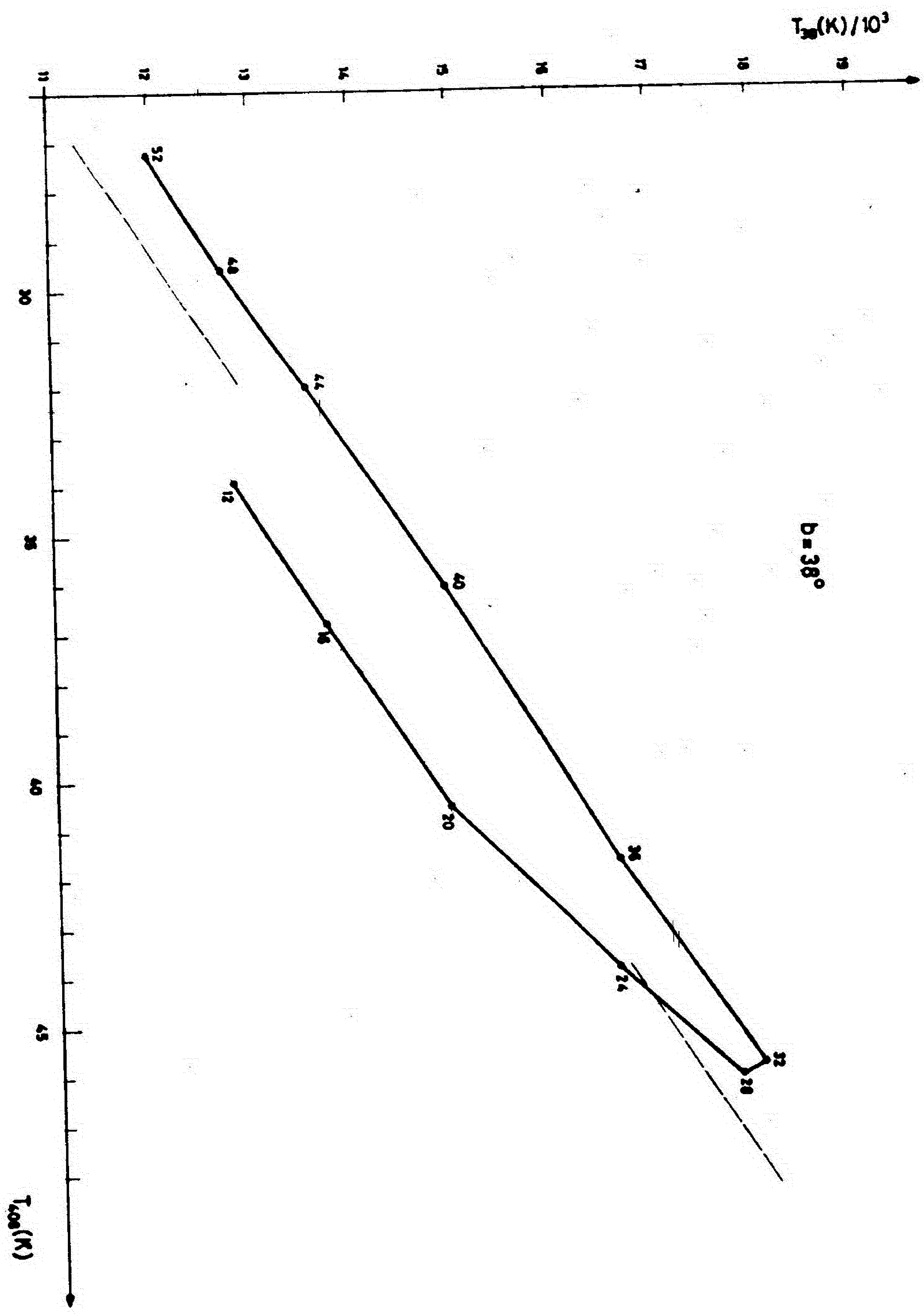
Tipičan primer T(38) - T(408) grafika dat je na sl. 84

Diferencijalni spektralni indeksi izračunati iz nagiba srednje linije kroz T-T grafik paralelne stranicama T-T petlje date su u tablici 9 .

T a b l i c a 9.

Diferencijalni spektralni indeksi Severnog Polarnog Luka između 38 MHz i 408 MHz

| b° | β_{Δ} | b° | β_{Δ} |
|-------------|------------------|-------------|------------------|
| 22 | 2,48 | 50 | 2,44 |
| 26 | 2,49 | 54 | 2,62 |
| 30 | 2,46 | 58 | 2,63 |
| 34 | 2,48 | 62 | 2,56 |
| 38 | 2,44 | 66 | 2,52 |
| 42 | 2,48 | 70 | 2,56 |
| 46 | 2,44 | 74 | 2,45 |



Slika 84. $T(38)$ - $T(408)$ grafik Severnog Polarnog Luka za $b=38^\circ$.

Srednja vrednost diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka između 38 MHz i 408 MHz je odatle

$$\bar{\beta} (38, 408) = 2,50 \pm 0,02 .$$

Navedena greška se odnosi na unutrašnju tačnost. Ukupna greška koja daje spoljnu tačnost je $\pm 0,05$. (Vidi 6.2.7.). Radi poredjenja, diferencijalni spektralni indeksi Luka, izračunati iz nagiba "najbolje podešene prave linije" za svaku latitudu, daju srednju vrednost

$$\bar{\beta}' = 2,44 \pm 0,01 .$$

Iako leže van granice svojih grešaka ove dve srednje vrednosti ipak leže unutar granice 3σ , koja se nekad koristi kao kritična mera odstupanja.

6.2.3. Diferencijalni spektralni indeks Severnog Polarnog Luka između 38 MHz i 10 MHz

Diferencijalni spektralni indeksi između 38 MHz i 10 MHz dobijeni su iz T-T grafika, gde su na ose nanete temperature sjaja izvedene iz pregleda na 38 MHz i pregleda na 10 MHz (Caswell 1976) konvoluiranog na razdvojnu moć od $7^{\circ}1/4 \times 8^{\circ}1/4$. Temperature sjaja na 38 MHz su izvedene iz antenskih temperatura na 38 MHz, pošto je od njih oduzet doprinos bočnih listova i dobijena vrednost podeljena sa brojnim udelom glavnog snopa u ukupnom prijemu na način kako su to uradili Polini-Tot i Šejkšaft (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962).

Korekcija za jonosfersku apsorpciju i ostale s njom vezane efekte, s obzirom da se radi o oblasti za $d < 15^h,5$ gde je jonosferska apsorpcija manja od 1%, može doneti više greške no poboljšanja. Iz tog razloga spektralni indeksi izmedju 10 MHz i 38 MHz ovde izneti su dati bez ikakvih korekcija.

Iako po svom izgledu T-T grafici izmedju 10 MHz i 38 MHz liče na grafike T(38) - T(408), oni pokazuju inverziju u odnosu na T-T grafike izmedju 38 MHz i 408 MHz. Tipičan grafik dat je na slici 85 .

Kao što je to prediskutovano u odeljku 6.3.5., autor ove teze smatra da je ta inverzija posledica previsokog položaja grebena na 38 MHz, najverovatnije zbog posmatračkih grešaka.

Rezultati odredjivanja diferencijalnih β_{Δ} spektralnih indeksa iz nagiba srednjih pravih T-T grafika dati su u tablici 10.

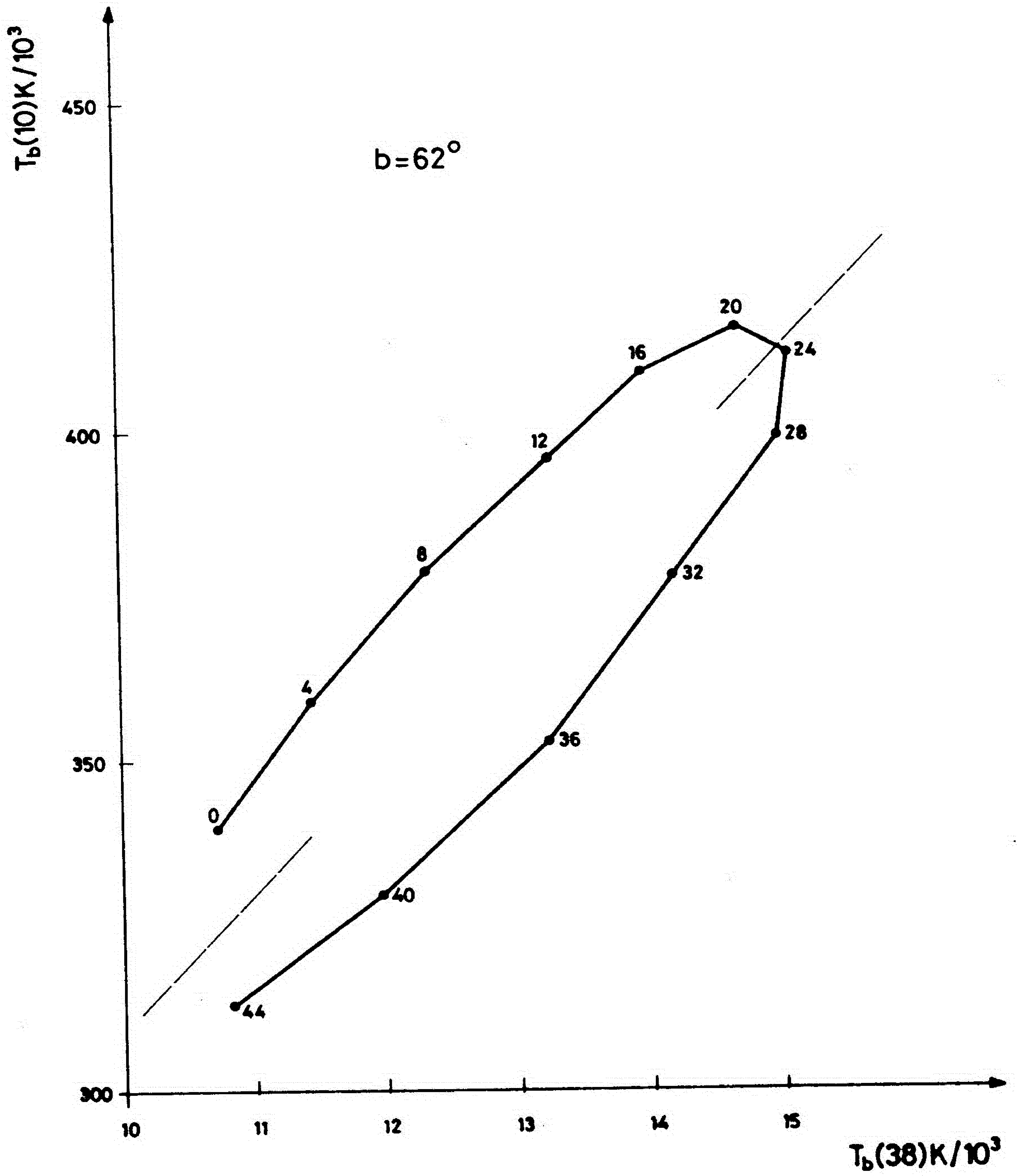
T a b l i c a 10.

Diferencijalni spektralni indeksi Severnog Polarnog Luka izmedju 10 MHz i 38 MHz

| b | β_{Δ} | b | β_{Δ} |
|-----|------------------|-----|------------------|
| 50° | 2,35 | 62° | 2,27 |
| 54° | 2,28 | 66° | 2,41 |
| 58° | 2,27 | 70° | 2,33 |

Srednja vrednost diferencijalnog spektralnog indeksa Luka izmedju 10 MHz i 38 MHz je

$$\bar{\beta}_{\Delta}(10,38) = 2,32 \pm 0,02$$



Slika 85. $T(10) - T(38)$ grafik Severnog Polarnog Luka za $b=62^\circ$.

Navedena greška se odnosi na unutrašnju tačnost. Spoljna tačnost iznosi $\pm 0,08$.

Ovaj rezultat pokazuje da, iako je spektralni indeks Luka između 10 MHz i 38 MHz manji od onog između 38 MHz i 408 MHz, on ipak nije tako nizak kako bi se očekivalo da je spektar Severnog Polarnog Luka zakrivljen sa maksimumom blizu 38 MHz, kako su to smatrali neki raniji istraživači (Holden 1968).

To je veoma važan rezultat istraživanja spektra Severnog Polarnog Luka u ovoj tezi. On je korišćen zajedno sa $\beta_A(38, 408)$ za izvodjenje analitičkog spektra Severnog Polarnog Luka (6.4.8.).

6.2.4. Ispitivanje latitudne zavisnosti diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka

Grafik na kome su naneti spektralni indeksi $\beta_A(10, 38)$, $\beta_A(38, 408)$, izračunati u ovoj tezi i spektralni indeksi $\beta_A(240, 820)$ između $b = 17^\circ$ i $b = 43^\circ$ iz rada Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971), je dat na slici 86.

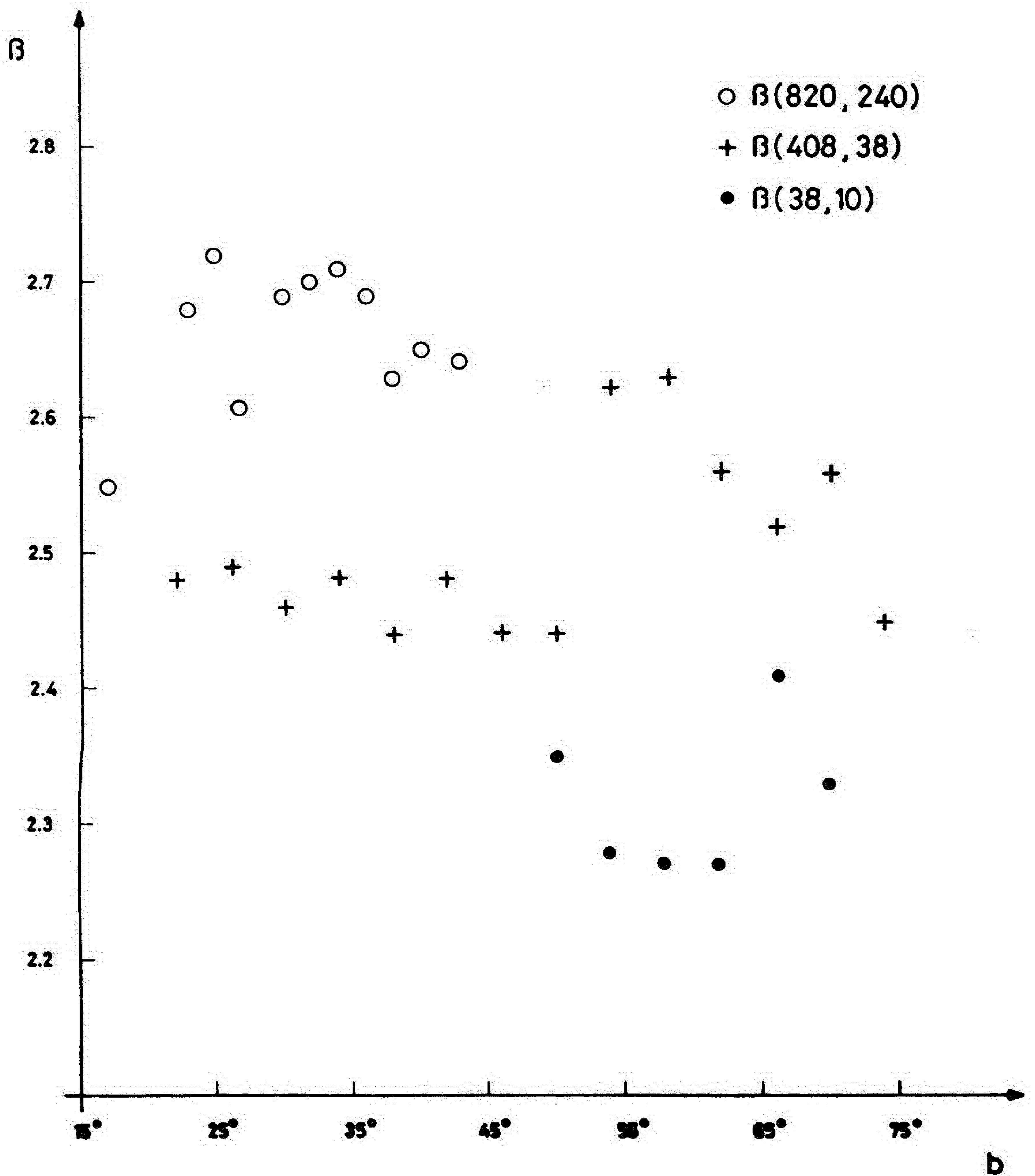
Vrednosti $\beta_A(10, 38)$ i $\beta_A(38, 408)$ su izvedene tu iz srednjih linija T-T grafika, a greške procenjene iz odstupanja tačaka na bočnim stranama T-T grafika od pravih povučenih paralelno srednjoj liniji što približnije duž stranica grafika. U proseku te su greške male, jer su stranice skoro paralelne. One su za $\beta_A(38, 408)$ manje od 0,02, a za $\beta_A(38, 10)$ manje od 0,05. Greške za $\beta_A(240, 820)$ su prema Berkhujsenovoj 0,02.

Kao što se vidi sa slike 86. varijacije sa latitudom su srazmerno male, sem oko $b = 55^\circ$ i $b = 70^\circ$. Dok je oko $b = 55^\circ$ moguće pomisliti da bi ta pojava mogla biti povezana sa platoom sa spoljne strane Luka ili horizontalnim grebenom sa unutrašnje strane, u slučaju $b = 70^\circ$ nije nadjena neka korelacija. Vrednost $\beta_\Delta(38, 404)$ manje odskače za $b = 70^\circ$ no $\beta_\Delta(38, 408)$.

Čak ako se uzme kao kriterijum da je odstupanje od vrednosti značajno tek ako prelazi vrednost 3σ , sve tačke, izuzev $\beta_\Delta(240, 820)$ na 17° i $\beta_\Delta(38, 408)$, $\beta_\Delta(10, 38)$ na 54° , ne pokazuju da zavisnost β_Δ od latituda postoji.

Ovaj zaključak nam dozvoljava da osnovano ekstrapoliramo da $\beta_\Delta(10, 38)$ i ispod 54° nije mnogo drugačije od onog iznad 54° .

To sa svoje strane ukazuje da nema nikakvog materijala što bi podržao nalaz Pertona (Purton 1966), da na grebenu postoje "apsorpcione mrlje".



Slika 86. Zavisnost diferencijalnog spektralnog indeksa Severno Polarnog luka od latitude.

6.2.5. Spektralni indeksi drugih lukova

6.2.5.1. Osnovni stavovi

Svi ostali lukovi su znatno slabiji objekti tako da je njihove spektralne indekse znatno teže odrediti. Zbog malog raspona temperatura T-T grafici su kratki, pa su i greške nagiba, odnosno, spektralnih indeksa znatno veće.

Šem toga pokazalo se na materijalu ove teze da je zračenje "pozadine" iza većine slabih lukova imalo osetan gradijent sa koordinatama.

Dok se kod Severnog Polarnog Luka asimetrija krajeva latitudnih preseka javljala po pravilu samo na 408 MHz, a ne i na 38 MHz u odsustvu popravki, kod slabijih lukova ona postoji na obema učestanostima. U slučaju Severnog Polarnog Luka to nejednako ponašanje na dvema učestanostima daje razliku u ukupnim spektralnim indeksima van i unutar Luka, koja izgleda povezana za sam Luk (5.6.6.2.).

Postojanje gradijenta na obema učestanostima u slučaju slabijih lukova može se protumačiti postojanjem, sem samog luka, još jedne anizotropne komponente koja može biti povezana sa lukom, ali a priori ne mora. Kao što je već diskutovano u 6.1.1. i 6.1.2, ova druga anizotropna komponenta može biti spektralnog indeksa bliskog indeksu luka u kom slučaju će T-T grafici dati indeks luka, i pored prisustva te komponente, što je i praktično provereno.

U daleko najvećem broju slučajeva kod slabijih lukova nagib pozadine je odgovarao upravo takvom slučaju, jer su preseci posle odgovarajuće dilatacije ose pokazivali isti

nagib. Čak u onim slučajevima gde su se nagibi razlikovali to je bilo moguće podvući pod granice greške i naći neke činjenice koje bi umanjivale značaj tog efekta.

Same petlje (kvazihisterezis) su bile srazmerno uske, što bi prema predloženom četverovektornom modelu (6.3.3) govorilo o slabosti četvrte anizotropne komponente. Suženost petlje je dovodila do boljeg slaganja između indeksa izvedenih iz nagiba prave dobijene metodom najmanjih kvadrata i prave povučene paralelno stranicama.

Od posebnog je interesa bilo videti da li u pogledu strukture T-T grafika ovi drugi lukovi imaju osobine slične osobinama Severnog Polarnog Luka: visoki spektralni indeks spolja, a nizak unutra. Takvo ponašanje je izveo Webster (Webster 1974) za slučaj Petlje I i Petlje III. U ovoj tezi bilo je materijala za sve lukove vidljive iznad $\delta = -25^\circ$.

Važno je bilo i ispitati do kakvih zaključaka o anizotropnoj "pozadini" se u slučajevima petlji moglo doći.

6.2.5.2. Petlja II (Luk Kita)

Deo Petlje II, koji leži na karti neba na slici oko $l = 44^\circ$, $b = -22^\circ$, i koji ćemo ovde uslovno zvati Luk u Vodoliji je mnogo bolje vidljiv na 38 MHz nego na 408 MHz. Ta činjenica već sama po sebi govori o tome da njegov spektralni indeks mora biti visok. Osetno veće indekse nego u slučaju Severnog Polarnog Luka našla je i Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971) između 820 MHz i 240 MHz.

Pojava nagnutosti pozadine u oblasti Luka Vodolije

je najizraženija od svih razmatranih oblasti. Sjaj pozadine u tom delu je utoliko veći, ukoliko je longituda manja. Iako bi se takav efekat očekivao u slučaju precenjene popravke za jonosfersku apsorpciju, on se ne može pripisati samo njoj jer postoji i u podacima nepopravljenim za jonosfersku apsorpciju.

Diferencijalni spektralni indeksi izvedeni iz podataka na 38 MHz u ovom delu neba, gde je jonosferska apsorpcija između 7% i 20%, zbog nesigurnosti popravke za apsorpciju su podložni znatno većoj grešci no drugde.

S obzirom na tu neizvesnost autor se zadovoljio sa diferencijalnim spektralnim indeksima između 404 MHz i 38 MHz, i nije izvodio indekse između 408 MHz i 38 MHz, kada je dobio naknadno konvoluiranu kartu celog neba na 408 MHz.

Diferencijalni spektralni indeksi Luka Vodolije su izvedeni za latitute između -34° i -50° , jer je van njih luk veoma slab i T-T grafici stoga suviše kratki.

U oblasti anticentra, deo Petlje II oko $l = 150^{\circ}$, $b = -30^{\circ}$ (luk u Ovnu) je takodje veoma slab, pa su se stoga spektralni indeksi mogli pouzdanije izvesti samo za neke latitute. Nagnutost pozadine se može uočiti već pri prvom pogledu na karti i morala se uzeti u obzir, jer iznosi više od koraka konture. U tom delu nagnutost pozadine nema istu orijentaciju: na nekim latitudama je pozadina sjajnija na većim longitudama, a na nekima je slabija.

Spektralni indeksi, izvedeni kao i pre povlačenjem prave paralelne stranicama, dati su u tablici 11. Pošto su petlje na T-T graficima bile uske, dobijeni indeksi se slažu sa onim izvedenim i metodom najmanjih kvadrata unutar granica greške.

Tablica 11.

Diferencijalni spektralni indeksi Petlje II
između 38 MHz i 404 MHz

| b | l | (38, 404) | |
|------|-------------|-----------|---|
| -34° | 28° - 60° | 2,69 | "V o d o l i j a" "O v a n" "K i t" |
| -38 | | 2,61 | |
| -42 | | 2,56 | |
| -46 | | 2,53 | |
| -50 | | 2,59 | |
| -30 | 124° - 200° | (2,37) | |
| -34 | | 2,22 | |
| -38 | | 2,29 | |
| -42 | | 2,33 | |
| -46 | 124° - 200° | 2,25 | |
| -50 | | 2,47 | |
| -54 | | 2,52 | |
| -58 | | 2,44 | |
| -74 | | 2,68 | |

Srednja vrednost za spektralni indeks luka u Vodoliji je

$$\bar{\beta}_1 = 2,57 \pm 0,02 \quad \bar{\beta}_1 = 2,60 \pm 0,02$$

gde je data greška unutrašnje prirode.

Spoljašnja greška je bar 0,03, a s obzirom na nesigurnost procene jonosfere apsorpcije mogla bi biti i 0,05.

Zanimljivo je uočiti da se spektralni indeks Petlje II znatno menja duž njenog luka. U delu koji leži bliže

anticentru, nazovimo ga uslovno luk u Ovnu, spektralni indeks je mnogo manji, no u delu luka u Kitu i Vodoliji. Velika razlika sličnog tipa može se uočiti i na podacima Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971). Prelom kao da se događa na $b = -50^\circ$. Zato su i srednje vrednosti izračunate za tri posebna dela, kako je i označeno u tablici.

Sem već gorenavedenog $\bar{\beta}_1$ imamo da je

$$\text{za Luk u Kitu } \bar{\beta}_2 = 2,59 \pm 0,02 \quad (2,27 \pm 0,02 \text{ bez } -30^\circ)$$

$$\text{za Luk u Ovnu } \bar{\beta}_3 = 2,53 \pm 0,05.$$

Spoljna greška tih vrednosti je oko 0,03, odnosno 0,07 respektivno. Srednja vrednost svih: $\bar{\beta} = 2,47 \pm 0,04$ sa spoljnom greškom 0,06.

Možda postoji čak još jedan prelom približno tamo gde Luk Kita prestaje da bude jasan na karti na 38 MHz.

Gornja strana petlje T-T grafika Luka u Vodoliji je odgovarala nižim longitudama u više od polovine slučajeva. U ona dva gde nije, T-T grafici su bili uži od greške temperatura, tako da njihova nesaglasnost sa orijentacijom drugih grafika ne mora biti značajna.

Za očekivanje je, ako su Luk u Vodoliji i Severni Polarni Luk sličnog porekla, da strana sa nižim longitudama bude gornja na T-T grafiku. Prema ovde predloženom modelu to bi značilo prisustvo komponente visokog indeksa sa spoljne strane Luka u Vodoliji.

Luk u Ovnu i Luk u Kitu se izvrsno uklapaju u tu zakonitost. Tu su više longituda sa gornje strane petlje na T-T grafiku. Samo za $b = -30^\circ$ je dobijeno suprotno, što s obzirom i na vrednost indeksa koja odskakače ponajpre liči na grešku merenja.

6.2.5.3. Luk u Pegazu ($l = 85^\circ$)

Luk u Pegazu je, ustvari, intenzivniji objekat no Luk u Kitu i stoga omogućuje tačnije izračunavanje spektralnih indeksa.

Nagnutost pozadine je u ovom delu neba manja, ali postoji i uzeta je u obzir.

Pošto je jonosferska apsorpcija u tom delu neba ispod 6%, autor ove teze je smatrao da će biti pravilnije, s obzirom na grešku procene apsorpcije da koristi neposredno merene podatke na 38 MHz.

Na $b = -26^\circ$ i $l = -30^\circ$, T-T grafici su imali petlju čija je gornja strana odgovarala nižim longitudama, dok je na $b = -34^\circ$ orijentacija petlji bila obrnuta. Uvidom u podatke autor ove teze je došao do zaključka da je do ovakve izmene u orijentaciji petlje došlo verovatno zbog grešaka merenja na 38 MHz.

Ukoliko je Luk u Pegazu iste prirode kao i Severni Polarni Luk, ali ne i deo istog objekta, onda bi trebalo očekivati da spoljna strana, tj. ona nižih longituda, bude sa gornje strane T-T petlje, što i jeste u dva od tri grafika. Onaj koji ima gornju stranu T-T grafika većih longituda je onaj na $b = -34^\circ$, gde je luk svega oko 2000 K iznad pozadine. Taj T-T dijagram ima širinu na granici greške, a nagib drastično manji od nagiba druga dva (vidi tablicu 12).

Otuda je, po mišljenju autora ove teze, moguće zaključiti da i Luk u Pegazu ima viši indeks sa spoljne strane luka ("pravilo strme strane" ili "pravilo krivine").

Tablica 12.

Diferencijalni spektralni indeks Luka na
 $l = 85^\circ$ (Pog) između 38 MHz i 408 MHz

| b | l | β_Δ |
|-------------|-----------------------|----------------|
| -26° | $60^\circ - 96^\circ$ | 2,69 |
| -30° | | 2,59 |
| -34° | | 2,47 |

Srednja vrednost sve tri je

$$\bar{\beta}_3 = 2,58 \pm 0,05.$$

Srednja vrednost prve dve je

$$\bar{\beta}_2 = 2,64 \pm 0,04$$

Spoljna greška je 0,07 koja, s obzirom na zanemarivanje
apsorpcije, može biti i 0,08.

6.2.5.4. Luk u Biku ($l = 185^\circ$)

Luk u Biku je na karti neba na 38 MHz iz ove teze
mного upadljivi objekat no što je to na 408 MHz (na 404 MHz
je ispušten), ukazujući već samim tim na srazmerno visok
spektralni indeks.

Pošto je to ipak srazmerno kratak Luk rezultati su
mogli da se izvuku samo za tri longituda. Dobijeni T-T grafi-
ci su se pokazali veoma uskim, gornje strane većih longituda.
Ovakva orijentacija se mogla očekivati ako pravilo "strme
strane" važi i u ovom slučaju. Ovakva orijentacija T-T gra-
fika govori u prilog mogućnosti da je Luk u Biku deo ostatka

supernove.

Posle oduzimanja prilično nagnute pozadine dobijeni su sledeći rezultati:

Tablica 13.

Diferencijalni spektralni indeksi Luka na $l = 185^\circ$

| b | l | β |
|-------------|-------------------------|---------|
| -18° | $164^\circ - 200^\circ$ | 2,52 |
| -22° | | 2,62 |
| -26° | | 2,72 |

$$\bar{\beta} = 2,52 \pm 0,05 \quad (\pm 0,06 - \text{spoljna greška})$$

Indeksi su slični sa indeksima Luka u Pegazu ($l = 85^\circ$) što se može istaći kao potpora hipotezi izloženoj u glavi 4., da ta dva Luka čine celinu.

6.2.5.5. Petlja III

U ovoj tezi Petlja III se nije mogla kompletno ispitati, jer je okolopolarna oblast samo delimično kartirana.

Medjutim, ono što se moglo uraditi pokazuje da se i Petlja III uklapa u istu empirijsku vezu spoljne strane luka i visokog indeksa.

Merenja na 38 MHz su najviše obuhvatila od Petlje III tzv. njen južni nastavak ($b < 0$, $l = 150^\circ$). I on se na karti neba na 38 MHz mnogo jasnije vidi, nego na 404 MHz ili na 408 MHz što govori o srazmerno visokom spektralnom indeksu.

Latitudni grafici su pokazali da pozadina oko

$l = 150^\circ$ i nije mnogo nagnuta sem u slučaju $b = -10^\circ$, gde se profili na 38 MHz i 408 MHz veoma razlikuju. Tako je vrh na 38 MHz pomeren za oko 4° ka višim longitudama u odnosu na greben na 408 MHz, a spektralni indeks drastično veliki ($\sim 2,9$). Autor ove teze je sklon zaključku da je tako blizu galaktičke ravni teško tačno izmeriti jedan tako slab luk i da veliku razliku i veoma strm spektralni indeks treba smatrati pre posledicom grešaka merenja, nego realnom astrofizičkom pojavom.

Srednja vrednost diferencijalno spektralnog indeksa izvedenog iz T-T grafika za $b = -14^\circ, -18^\circ$ i -22°

$$\bar{\beta} = 2,54 \pm 0,01$$

sa spoljnom greškom od $\pm 0,05$.

Severni deo Petlje III oko $l = 150^\circ$ je nedovoljno dobro posmatran na 38 MHz. Procena spektralnog indeksa u tom delu je $\beta \approx 2,55$. Bliskost tih vrednosti povećava verovatnoću da je južni luk oko $l = 150^\circ$ zbilja nastavak severne Petlje III.

Severni deo Petlje III oko $l = 90^\circ$ je na 38 MHz takodje nedovoljno dobro posmatran. Položaji tog luka na 38 MHz i 404 MHz se znatno razlikuju. Greben na 38 MHz je za oko 4° pomeren ka višim longitudama u odnosu na greben na 404 MHz. Poredjenje sa raspoloživom konvoluiranom kartom na 408 MHz ne daje ništa korisno, jer je Petlja III na njoj samo jednim delom krila prisutna.

Oduzimanje pozadine se nije moglo obaviti, jer je objekat blizu granice karte gde su podaci nepouzdati.

Procena vrednosti indeksa na $b = 22^\circ, b = 26^\circ$ i duž $\alpha = 16^h 40^m, \delta > 70^\circ$ (što je blisko preseku na $b = 28^\circ$) daje $\beta \approx 2,7$. T-T grafici samo na $b = 26^\circ$ imaju oblik pravilne

petlje, sa gornjom stranom koja odgovara većim longitudama ($100^{\circ} > l > 92^{\circ}$). Takva orijentacija je suprotna od očekivane po pravilu "krivine", a i od nalaza Webster (Webster 1974). Mišljenje autora ove teze je da podaci na 38 MHz u tom delu ne zadovoljavaju u meri koja bi bila dovoljna da se ovom neslaganju prida veći značaj.

Još je teže izvesti spektralni indeks mogućeg nastavka Petlje II južno od galaktičke ravni blizu $l = 100^{\circ}$. Dok se na 38 MHz tu zapaža jedan mali, ali očit luk, na 408 MHz se vidi veoma blag luk koji se ne poklapa po položaju idealno sa onim na 38 MHz. Sa tako slabim objektom u odsustvu poklapanja položaja ne mogu se izvesti rezultati koji ne bi bili krajnje sporni.

Tablica 14.

Diferencijalni spektralni indeksi Petlje III

| b | l | β_{Δ} |
|------------------|-------------------------------------|------------------|
| -14 ^o | 120 ^o - 164 ^o | 2,56 |
| - 18 | | 2,53 |
| -22 | | 2,54 |
| +10 | 152 ^o - 160 ^o | 2,55 |
| +22 | 80 ^o - 96 ^o | 2,75 |
| +26 | 80 ^o - 100 ^o | 2,65 |
| +27 | | 2,69 |

6.2.5.6. Luk u Lavu

Luk u Lavu, odnosno, "most medju minimumima" je neobičan objekat čiji bi spektralni indeks zanimljivo bilo znati. Uzimajući kosi presek i ispravljajući za nagнутost pozadine dobijen je T-T grafik, koji je opet petlja i to gornje strane većih longituda i velike širine.

Kao što je već često bio slučaj i ovde su greben na 38 MHz i 408 MHz pomereni. Za spektralni indeks između 38 MHz i 408 MHz dobijeno je $\beta = 2,80 \pm 0,07$, gde je ta greška unutrašnja, dok bi spoljašnja bila 0,08.

6.2.6. Galaktički diferencijalni spektralni indeks

Pod pojmom galaktičkog diferencijalnog spektralnog indeksa podrazumevaće se ovde spektralni indeks dobijen T-T metodom primenjenom na preseke duž konstantnih galaktičkih longituda, u delovima gde nema izrazitih lukova.

U slučaju podataka srazmerno male razdvojne moći može se smatrati da galaktički diferencijalni spektralni indeks u oblasti anticentra predstavlja spektralni indeks prema Websteru (Webster 1978). U oblasti centralne hemisfere situacija je složenija i čak pri maloj razdvojnoj moći ne može se pripisati samo jednoj vrsti izvora. Za pristalice haloa to je indeks i diska i haloa, a za protivnike haloa indeks diska i lokalnih objekata.

Vrednosti $\beta_g(38, 408)$ izračunate u ovoj tezi date su u Tablici 15. Temperature na 38 MHz su bile ispravljene za iznos apsorpcije. Pošto su petlje na tim T-T graficima bile uske, to su rezultati ovde izvedeni metodom najmanjih kvadrata, praktično isti, kao i izvedeni iz srednje linije T-T grafika.

Tablica 15.
Galaktički diferencijalni spektralni indeks

| l° | $\beta_g(38, 408)$ | l° | $\beta_g(38, 408)$ |
|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| 28 | 2,28 $\pm 0,04$ | 164 | 2,57 $\pm 0,03$ |
| 56 | 2,38 $\pm 0,04$ | 172 | 2,52 $\pm 0,06$ |
| 140 | 2,44 $\pm 0,04$ | 176 | 2,57 $\pm 0,04$ |
| 160 | 2,52 $\pm 0,02$ | 212 | 2,58 $\pm 0,08$ |

Navedene vrednosti su dobijene podešavanjem pravih linija metodom najmanjih kvadrata. Greške navedene u tablici 15. su formalno izračunate iz greške nagiba najbolje podešene prave.

Sledeći isti put kao u 6.2.7. dobijene su srednje vrednosti indeksa i greške srednjih vrednosti.

Srednja vrednost galaktičkog spektralnog indeksa u oblasti anticentra je

$$\beta_a = 2,53 \pm 0,05$$

Srednja vrednost u oblasti centra iz tablice je

$$\beta_c = 2,33 \pm 0,06.$$

Kao što se i moglo očekivati u oblasti centra indeksi su niski zbog apsorpcije od strane jonizovanog vodonika, dok su u oblasti anticentra efekti apsorpcije bitno manji. U oblasti anticentra su izbegavane sve one zone u kojima bi prema karti spektralnih indeksa postojale apsorpcione oblasti velikog ugaonog prečnika i apsorpcione moći, ili jaki pojedinačni izvori kao što je Tau A. Od apsorpcionih oblasti na 10 MHz (Caswell 1970) jedino kompleks oko $l = 140^\circ$, $b = 0^\circ$ možda pokazuje svoje prisustvo kroz srazmerno malu vrednost β_g .

6.2.7. Greške diferencijalnih spektralnih indeksa

U suštini, postoje dve vrste grešaka vezanih za diferencijalne spektralne indekse: unutrašnje greške i spoljne greške. Unutrašnje greške zavise od unutrašnjeg slag podataka medjusobom, dok je spoljna greška vezana za apsolutnu grešku korišćenih podataka.

U svakom T-T grafiku rastur tačaka oko izabrane prave linije daje unutrašnju grešku. Ako se prava podešava metodom najmanjih kvadrata, onda se greška izračunava isto vreme sa nagibom i odsečkom prave. Vrednosti unutrašnjih grešaka spektralnih indeksa izvedenih iz srednjih pravih dobijaju se iz rastura tačaka oko najboljih pravih postavljene kroz stranice T-T grafika, a paralelno srednjoj pravoj kroz T-T grafik.

Standardna greška δ_m srednje vrednosti spektralnih indeksa izračunatog iz N vrednosti spektralnih indeksa, od kojih je svaka dobijena metodom najmanjih kvadrata iz T-T grafika raznih latituda, je u suštini standardna greška srednjih vrednosti, pa je

$$\delta_m = \frac{\delta}{\sqrt{N}}$$

gde je δ standardna devijacija raspodele pojedinačnih srednjih vrednosti. To je po smislu unutrašnja greška.

Za slučaj Severnog Polarnog Luka dobijene su unutrašnje greške srednje vrednosti

$$\begin{array}{ll} \delta_m (38, 408) & \delta_m (38, 10) \\ \pm 0,035 & 0,02 \end{array}$$

Izvedimo sada izraz za ukupnu grešku, polazeći da je u svim razmatranim slučajevima zastupljena normalna raspodela grešaka.

Neka je ξ greška antenske temperature $T(f_1)$ izražena u procentima. Tada je

$$\beta = - \left\{ \log \left[\frac{(1+\xi) \Delta T(f_1)}{\Delta T(f_2)} \right] \right\} / \log \frac{f_1}{f_2}$$

odnosno

$$\beta = \beta' + \left[\log(1+\xi) \right] / \log \frac{f_1}{f_2}$$

gde je β' tačna vrednost spektralnog indeksa.

Greška od 10% u pregledu na 408 MHz daće grešku u $\beta(38, 408)$

$$E_{408} = 0,04$$

Greška od 10% u pregledu na 10 MHz daće grešku u $\beta(10, 38)$

$$E_{10} = 0,07$$

dok će greška od 5% u pregledu na 38 MHz dati grešku u $\beta(38, 408)$

$$E_{38} = 0,02.$$

Otuda će ukupna greška biti u opsegu 38 - 408 MHz

$$E = \sqrt{E_{38}^2 + E_{408}^2 + E_u^2}$$

gde je E_u unutrašnja greška, tj. δ_m .

U slučaju spektralnog indeksa Severne Polarne Petlje

$$E(38, 408) = 0,05$$

$$E(38, 10) = 0,08$$

U ovim računima nije uzeta greška apsorpcije, jer je odlučeno da u oblasti Severnog Polarnog Luka apsorpcija tako mala ($< 5\%$), da je veća greška uzimati je i sprovesti ceo postupak korekcije podataka, nego izostaviti je.

6.3. I N T E R P R E T A C I J A P E T L J I T - T D I J A G R A M A

6.3.1. Uvod

Petlje na T-T dijagramima su veoma karakteristična pojava koja je zapažena praktično u svim graficima te vrste. One se javljaju ne samo kod Severnog Polarnog Luka već i kod drugih lukova, pa čak, mada u maloj meri, i kod preseka galaktičke ravni.

Već sama činjenica da su petlje tako opšta pojava zaslužuje posebno ispitivanje.

6.3.2. Prethodna istraživanja

Pre svega treba reći da je petljoobrazni oblik T-T dijagrama crtanih za konstante latitute nesumnjiva posmatračka činjenica jer su je našli i Berkhuisenova i Kejmbridžska škola i autor ove teze iz svojih i Gidičijevih podataka. Nesaglasnost u naperivanju teleskopa može davati sličan histerezisni efekat, ali u ovom slučaju ne radi se o tome, već o realnoj osobini radio-neba.

Još je Berkhuisenova (Berkhuijsen 1971) sugerisala da između $20^{\circ} < l < 30^{\circ}$ na svim posmatranim latitudama ($17^{\circ} < b < 43^{\circ}$) postoji ekstra komponenta srazmerno glatka sa niskim spektralnim indeksom. Njeno tumačenje, da je ova komponenta posledica postojanja rasprostrte oblasti jonizovanog vodonika u tom delu neba, nije potvrđeno jer su se Peronova posmatranja na koje se ona pozivala pokazala netačnim.

(7.2.3), a ni moderna optička merenja (Sivan 1974) nisu pokazala prisustvo HII emisije mere veće od $30 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$.

Webster je, tumačeći T-T dijagrame za 408, 610 i 1407 MHz koje je izveo, zaključio prvo (Webster 1974, 1971) da su osobine T-T grafika vezane za lukove, dok je kasnije bio sklon shvatanju da je petljoobraznost T-T grafika posledica prisustva haloa. On je čak smislio trovektorni model u kome je jedna komponenta pripadala upravo halou.

6.3.3. Četvorovektorni model T-T grafika

Radi tumačenja T-T grafika, autor ove teze je smislio četvorovektorni model. Sem broja komponentata, on se razlikuje od Websterovog modela i po fizičkom smislu dveju komponentata. Iako je smišljen za lukove, on se može primeniti i šire. Podrobno će model ovde biti prikazan na slučaju Severnog Polarnog Luka.

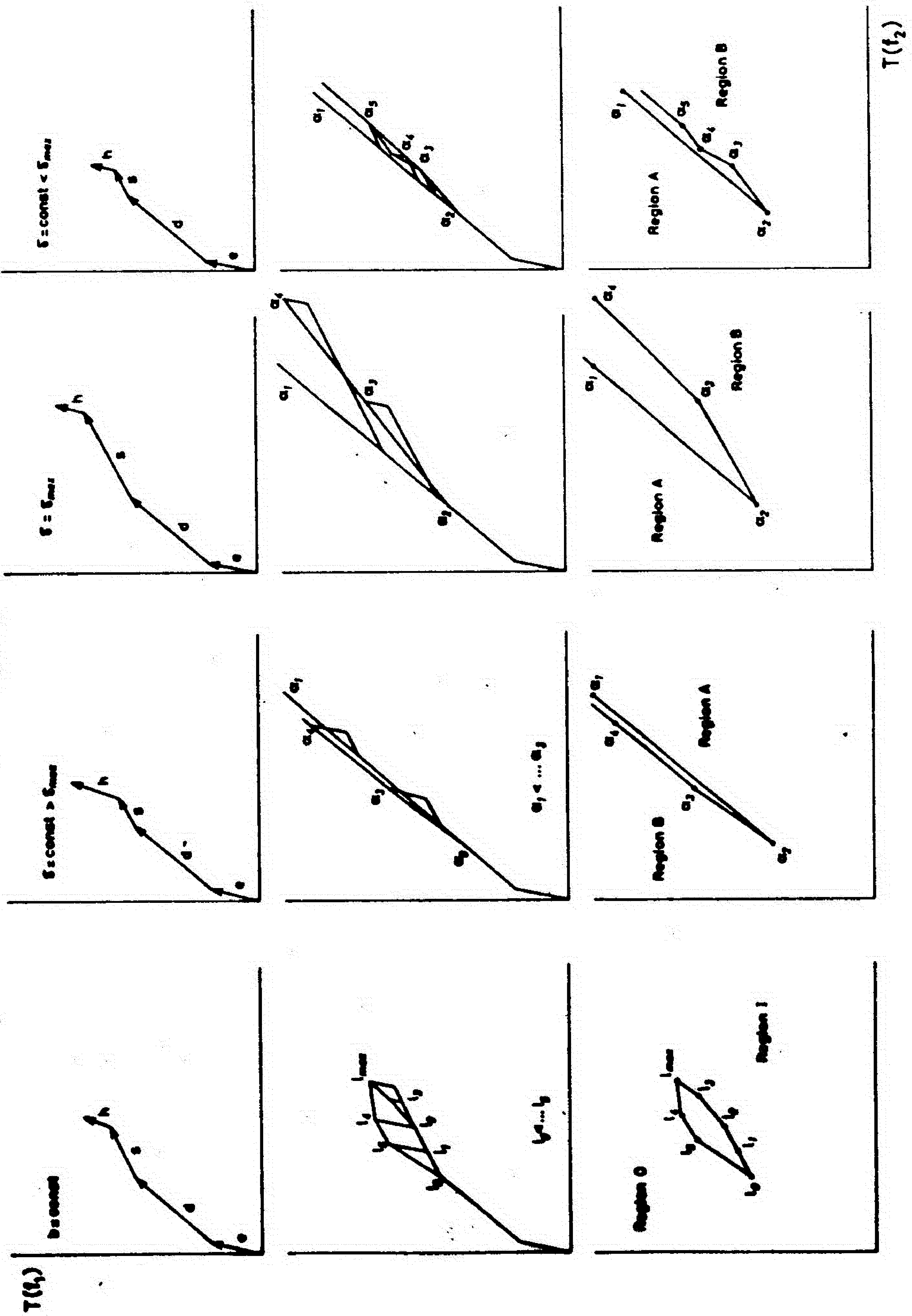
U ovom modelu dve komponente pripadaju pozadini a dve samom luku. Pozadinske komponente su vangalaktičko zračenje i zračenje galaktičkog diska. Ova poslednja je konstanta za datu latitudu ako se posmatra dovoljno daleko od galaktičkog ekvatora, dok je vangalaktičko zračenje izotropno. Strogo govoreći, ovaj model bi se mogao zvati i petovektornim s obzirom da se vangalaktičko zračenje sastoji od reliktnog zračenja i zračenja drugih galaksija. Međutim, pošto nas ovde sastav izotropne komponente ne zanima, smatraćemo da je jedinstvena. Bitno je ovde to da su sa lukom vezane komponente blažeg spektra koja daje osnovno zračenje luka i komponenta strmijeg spektra koja se javlja samo sa spoljne strane luka. Ova komponenta je u velikoj oblasti skoro izotropna ali se naglo smanjuje u blizini grebena i odsutna je daleko od njega.

Takvo ponašanje se može očekivati od komponente vezane za spoljni omotač jedne ljuske, kako se može verovati da i jes slučaj sa Severnim Polarnim Lukom.

Shematska konstrukcija u nekoliko pravaca data je na slici 87 . U biti, to je četvorovektorni model T-T grafik. Sličan je trovektornom modelu koji je dao Webster (Webster 1975), s tim što je sem broja vektora i drukčija i priroda ponekih od njih. Ako ostavimo za sada po strani problem pora zračenja visokog indeksa koga predstavlja vektor \vec{h} (od engleske reči high), dok za komponentu blažeg spektra koju predstavlja vektor \vec{s} (od engleske reči spur) prihvatimo da potiče od Luka, T-T model za opseg 38-408 MHz mora na osnovu posmatnja da zadovoljava sledeće zahteve:

- a) Vektori \vec{h} moraju biti kratki jer je zračenje van Luka slabo.
- b) Vektori \vec{s} moraju biti dugi jer je Luk sjajan.
- c) Nagib vektora \vec{h} je verovatno blizak nagibu vektora ekstragalaktičke komponente \vec{e} .
- d) Nagib vektora \vec{s} je blizak nagibu vektora zračenja diska \vec{d} , ali manji od njega.
- e) Vektor \vec{s} je po veličini blizak vektoru \vec{d} na samom grebenu.
- f) Vektor \vec{s} , u delu gde Luk leži skoro duž dnevnih paralela, malo zavisi od rektascenzije u oblasti strmog gradijenta i to naročito u oblasti strmog gradijenta.
- g) Vektor \vec{e} je manji od vektora \vec{d} .

4V model
 $\beta_0 < \beta_d$



Slika 87. Četvorovektorni model latitudnih i deklinacijskih T - T grafika.

Ovakav četvorovektorni model poseduje sve osnovne osobine posmatračkog T-T grafika:

- a) temperature unutar glavnog grebena Luka na višim učestanosti (f_2) su veće no van grebena za istu vrednost temperature na nižoj učestanosti (f_1).
- b) Stranice takve T-T petlje su paralelne međusobno.
- c) Njihov nagib je jednak nagibu srednje prave povučene kroz T-T grafik.
- d) Rascep između grana najčešće nastaje za tačke daleko van Luka i oko vrha grebena.
- e) Širina procepa je skoro ista u velikom rasponu latituda.

Izneti model je prvi konzistentni vektorski model latitudnih T-T grafika lukova. Iako je donekle inspirisan Websterovom idejom multivektorskog predstavljanja, on je originalan i predstavlja autorov korak dalje u teorijskoj podlozi T-T metode.

Webster je primenio svoju ideju vektorskog predstavljanja na deklinacijskim graficima da bi ih preko vektora ekstragalaktičke komponente, diskā i haloa objasnio.

Izneti model se po tumačenju komponenti bitno razlikuje od modela Berkhuisenove, koja je procep u latitudnim T-T graficima pripisala slaboj komponenti blagog spektra, dok je u ovom modelu procep protumačen, suprotno njoj, slabom komponentom strmog spektra. Berkhuisenova sem toga nikada nije izložila teorijski prilaz T-T grafiku. Stoga njen rad je imao utoliko uticaja na stvaranje četvorovektornog modela, koliko je to učinio svojom posmatračkom podlogom i navodjenjem autor

ove teze na trud da vidi šta je to bilo pogrešno u njenom tumačenju, kada ga kasnija posmatranja nisu potvrdila. Iz ovog modela sledi daje nagib stranica, odnosno srednje linije T-T dijagrama jednak nagibu vektora \vec{s} . To daje mogućnost da se spektralni indeks Luka odredjuje iz nagiba stranica, odnosno srednje linije, a ne metodom najmanjih kvadrata primenjenom na sve tačke.

Ova četverovektorna metoda omogućava da, znajući sopstveni spektralni indeks komponente h , izračunamo i njen intenzitet. Za sada sa podacima male razdvojne moći ne možemo spektralni indeks te komponente odvojeno dobiti. Medjutim, približno možemo oceniti da za opseg 38 MHz - 408 MHz je $2,5 < \beta_h < 2,65$. Uzimajući da je $\beta_h = 2,6$, dobijamo da komponenta vektora T na $b = 50^\circ$ iznosi na 38 MHz oko 1500 K, na 408 MHz oko 2 K, a na 10 MHz oko 90 000 K. Ovo su, naravno, veoma grube procene, koje su izvršene samo zato da se dobije pojam o veličini o kojoj je reč. Nije nemoguće da komponenta te veličine zaista postoji u delu severno od Severnog Polarog Luka. Polazeći da je na $b = 50^\circ$, u oblasti hladne rupe na $l = 90^\circ$, T (38) iznosila 5000 K, a da na $b = 50^\circ$, $l = 80^\circ$, T iznosi oko 8400 K, a na $l = 40^\circ$, gde već izofote teknu uporedo sa grebenom, oko 15000 K, ekstra komponenta od par hiljada Kelvina može biti prisutna, a da ranije nije zapažena.

Naravno da stvari u prirodi nisu idealne, kao što su modeli opisuju. Razna odstupanja od paralelnosti strana T-T sigurno mogu, sem od grešaka merenja, da potiču i od fluktuacija komponentata.

Za očekivanje je da će za $b = 45^\circ$, na mestu emisivnog platoa na spoljnoj strani T-T grafika da se javi poremećaj, bilo

u vidu pete komponente, bilo preko vanrednog povećanja \vec{s} komponente. On bi tačke na T-T dijagramu uz prisustvo iste komponente \vec{h} više razvuklo po dužini petlje. Podaci kojima autor raspolaže nedovoljno su tačni da bi se takvi efekti nedvosmisleno primetili.

Za razliku od T-T grafika Berkhujsenove, T-T grafici iz ove teze ne pokazuju sastavljanje krajeva T-T petlje u delovima daleko od grebena. Na većini latituda to bi moglo značiti da je strma komponenta prisutna i na latitudama znatno većim od l_{\max} .

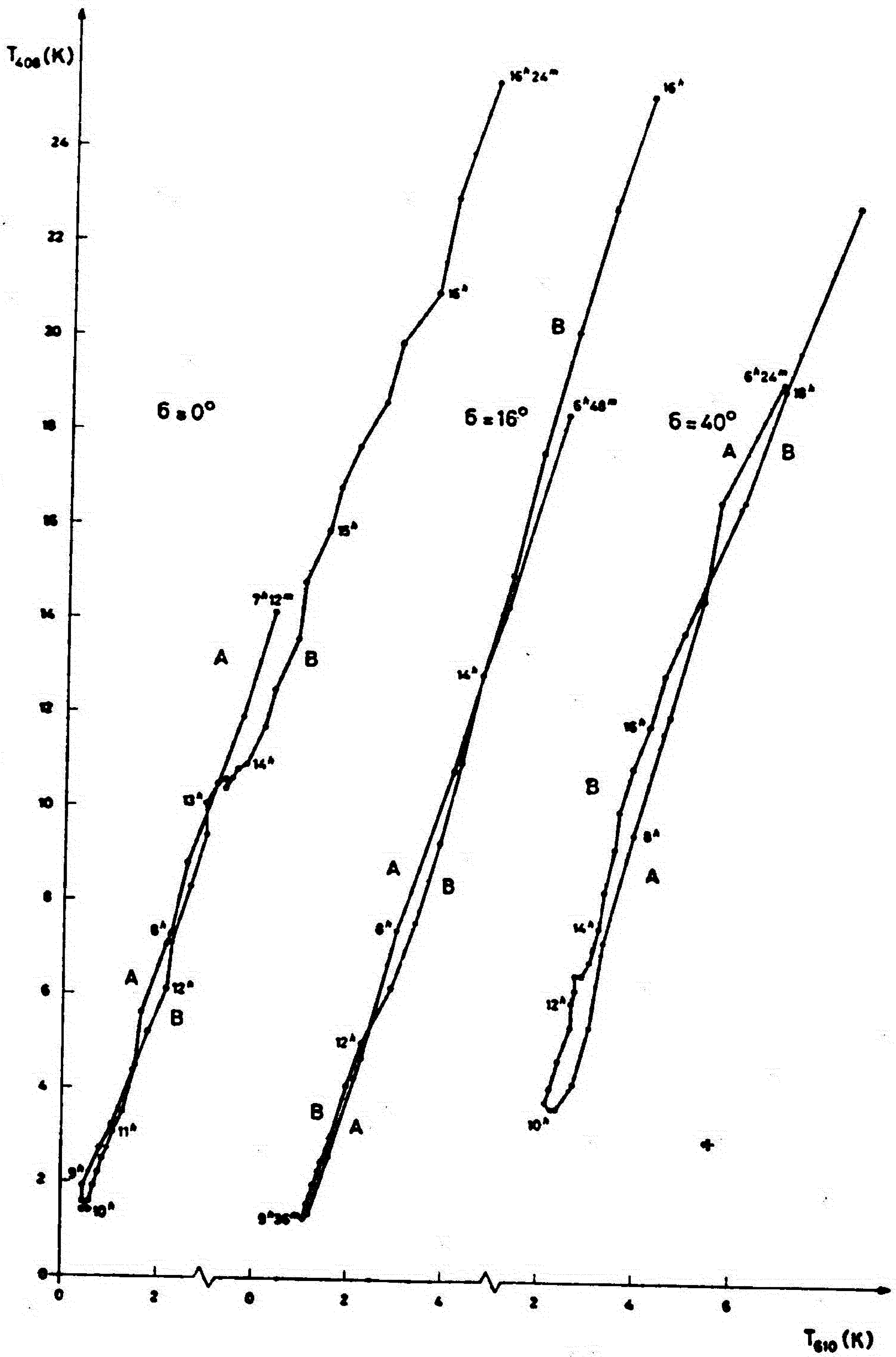
Još na početku ovog odeljka rečeno je da se pitanje porekla strme \vec{h} komponente u prvi mah ostavlja po strani. Sada je, međjutim, vreme da se na to osvrnemo. Da je u pitanju halo, on bi zadovoljavao uslov strmine spektra, ali bi njegov intenzitet duž latitudnog preseka za $l < 90^\circ$ brzo prirašćivao na većini latituda koje su razmatrane, sem na onim veoma visokim. To znači da bi se T-T grafik u tom slučaju formirao znatno drukčijeg oblika. Petlja T-T grafika bi sa donje strane bila otvorena, i to jako, a ono što je najupadljivije, to je činjenica da bi strane bile invertovane u odnosu na posmatrani grafik. Tačke sa većim longitudama bi ležale na donjoj strani T-T petlje, a tačke sa manjim longitudama na gornjoj strani T-T petlje. Sem toga stranice T-T petlje ne bi bile paralelne. Sve to nije slučaj, i to ne samo na posmatračkim T-T graphicima iz ove teze, već i kod Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971). Izgleda da latitudni T-T grafici govore da komponenta strmog spektra ne potiče od haloa.

Rezultati Vilsona o suprotnoj orijentaciji T-T grafika su, kao što je već rečeno, problematični, pa stoga nema smisla ih

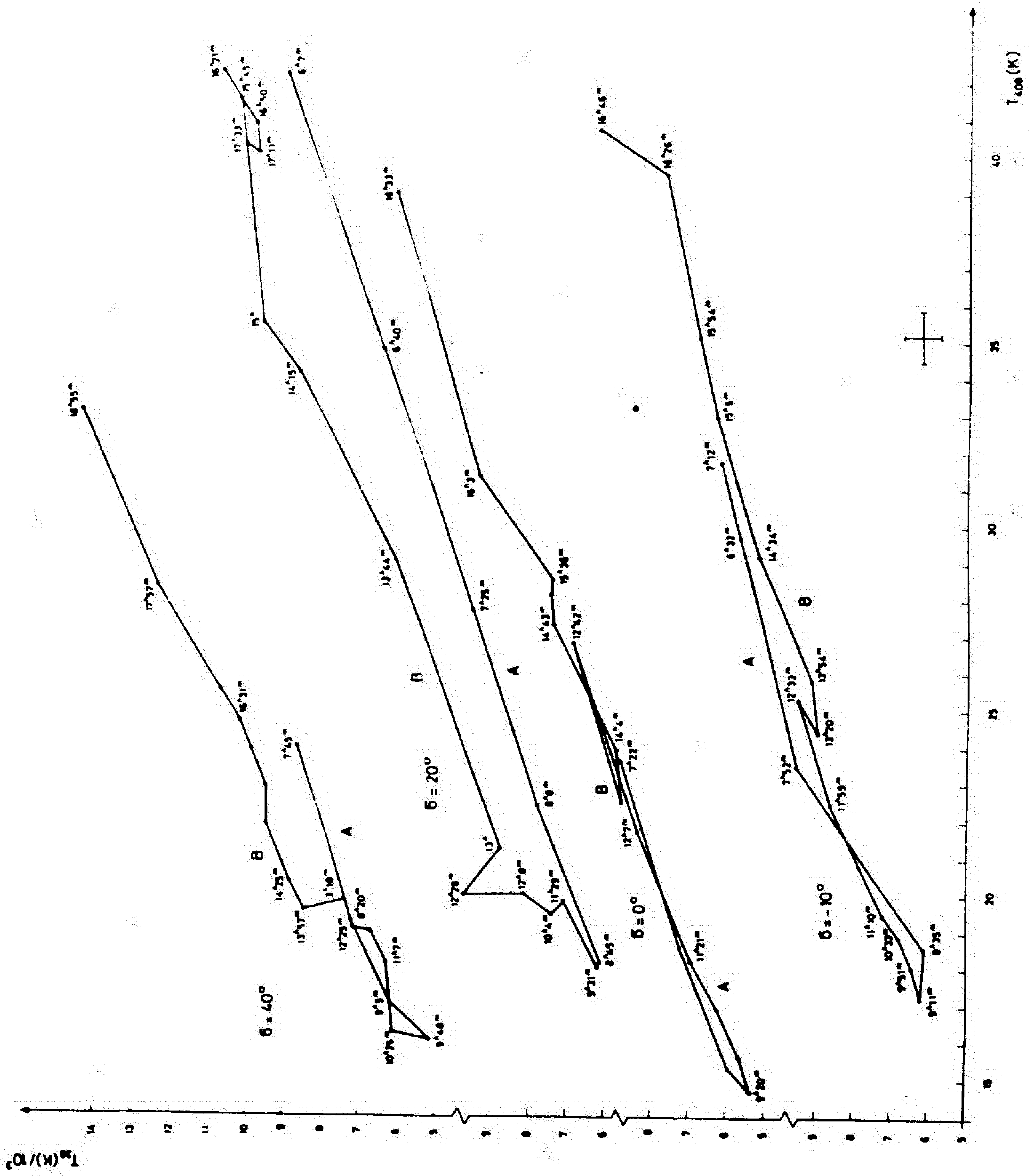
uzimati ozbiljno u obzir. On ih je, budući sam nesiguran u njih, ostavio neobjavljene. Ono što je verovatno tačno u njegovim rezultatima je to što je on našao različite nagibe prema tome koje je delove Luka uzimao. Taj nalaz nije u suprotnosti sa zaključcima iz ove teze.

Činjenica da na materijalu na 10 MHz i 38 MHz iz ove teze nastupa inverzija, mogla bi značiti da se u tom opsegu odnos komponenti menja. Ova inverzija bi se mogla pokušati protumačiti pojačavanjem učešća haloa na niskim učestanostima, ali i greškama merenja. Ovo poslednje se pokazalo verovatnijim (6.3.5.).

Deklinacijski T-T grafici većine prethodnih autora manje su pogodni za raspravljavanje ovog pitanja, jer ne sadrže posmatranja na niskim deklinacijama koje su tu ključne. Sem toga, promena intenziteta haloa duž konstantne deklinacije je manje izrazita i teža za interpretaciju. Videli smo već da su upravo deklinacijski T-T grafici na višim deklinacijama i naveli Webster da interpretira njihov viljuškasti oblik postojanjem strme komponente, koju je on pripisao halou. Autor se potpuno slaže sa idejom da je taj oblik grafika uslovljen komponentom strmog indeksa, ali smatra da to nije halo već komponenta prisutna severno od Severnog Polarnog Luka. Autor smatra da i T-T grafik za 408 MHz i 610 MHz, koji je dobio sam Webster (Webster 1974), na $\zeta = 0^\circ$ (slika 88.), govori svojim znatno manjim nagibom posle minimuma temperature da haloa nema. Da halo postoji on bi se na $10^h < \alpha < 18^h$ osećao. Halo bi dao strmiji spektar posle minimuma no pre minimuma zračenja, a ne obrnuto, kao što posmatranja pokazuju. Webster je preko te činjenice prešao smatrajući je izgleda lokalnom nepravilnošću.



Slika 88. $T(408) - T(610)$ grafici nacrtani prema radu (Webster 1974).



Slika 89. T(38 - T(404) deklinacioni grafici za najvažnije preseke kroz Severni Polarni Luk.

Izgled teoretskih T-T grafika kako za $b = \text{const}$, tako i $\delta = \text{const}$, prema ovom četverovektornom modelu dati su na slici 87.

Sličnost T-T grafika izvedenih iz četverovektornog modela sa realnim graficima je velika. Sličnost sa latitudnim graficima se može videti sa slike 84, a sa deklinacijskim graficima sa slike 88. i 89. Na slici 88. dati su deklinacijski T-T grafici nacrtani iz Websterovih podataka (Webster 1974), dok su na slici 89. deklinacijski T-T grafici nacrtani iz podataka ove teze za najkarakterističnije preseke. Svuda je sa A označena oblast pre minimuma zračenja (hladne rupe), a sa B oblast posle minimuma zračenja, idući sa rastućom rekstascenzijom. Te oznake su uzete radi lakšeg poredjenja sa T-T graficima iz Websterovog rada (Webster 1974), gde ih je on prvi uveo.

Oznaka I na latitudnom T-T grafiku se odnosi na oblast unutar (engleski inside) Luka, a oznaka O na oblast van (engleski outside) Luka.

Kao što se može videti glavne karakteristike teorijskih T-T grafika mogu da se zapaze na posmatračkim T-T graficima. To su petljobraznost latitudnih T-T grafika i inverzija oblasti A i B na deklinacijskim graficima pri prelazu iz zone unutar Luka u zonu van Luka. Čak se i odnosi širine otvora dobro slažu sa posmatranim.

Zanimljivo je pratiti kako se oblasti visokog i niskog ukupnog indeksa sa slike 64. a i b odražavaju na odgovarajućim T-T graficima. Veliko je zadovoljstvo bilo videti da je ponašanje T-T grafika onako kako to predviđa predloženi model.

6.3.4. Petovektorni model T-T grafika

Petovektorni model je nadgradnja četverovektornog modela kome je sem svih već navedenih komponenti dodata još jedna slaba, srazmerno glatka, veoma niskog spektralnog indeksa komponenta f (od engleske reči flat) s unutrašnje strane Luka. Nju je potrebno uvesti da bi se objasnila simetrija latitudnih T-T grafika, ukoliko je komponenta \vec{h} takva da joj je intenzitet svuda sa spoljne strane isti, a na grebenu i unutar Luka nula. U suštini, promenljivost jednog vektora (\vec{h}) se zamenjuje zbirom dva vektora u ovako zamišljenom petovektornom modelu ($\vec{h} + \vec{f}$).

Da li komponenta \vec{f} treba da je jača ili slabija od komponente \vec{h} , zavisi od odnosa njihovih spektralnih indeksa. Što je niži indeks to je radi održanja simetrije potrebno da njen intenzitet bude veći, ali nikada toliko veliki kao što je spektralni indeks osnovne komponente Luka \vec{s} .

Koliko je autor mogao da sagleda, raspoloživi posmatrački materijal pre ukazuje na odsustvo jače komponente niskog indeksa, no na njeno prisustvo (diskusija o rupi u Vagi u 5.6.6.2.).

Otvor na donjoj strani T-T petlje znači prema petovektornom modelu prisustnost slabe strme komponente daleko van grebena, a slabe blage komponente duboko unutar Luka. Otvor na donjoj strani stvarno postoji na T-T graficima ovde izvedenim. Medjutim, sličan efekat širokog otvora se može očekivati i u slučaju četiri komponente, samo zbog širine snopa kojim se Luk posmatra. Na T-T graficima užeg snopa (e.g. Berkhuijsen 1971), otvora nema. Petovektorni model nema za

sada ubedljivu posmatračku podlogu, a ni teorijski predviđene razloge postojanja.

6.3.5. Uzroci osobenosti T-T grafika iz ove teze i mogućnosti interpretacije petlji T-T dijagrama

T-T grafici ove teze nisu najpogodniji za interpretaciju jer je uočen pomeraj grebena Severnog Polarnog Luka na 38 MHz u odnosu na položaj grebena na 408 MHz i 10 MHz, između $13^h,5$ i $15^h,5$, u proseku $1^{\circ},2$ ka severu.

Kao što je izloženo u glavi 4, posmatranja visoke razdvojne moći prikupljena u velikom opsegu učestanosti ne pokazuju zavisnost položaja grebena od učestanosti. Sa svoje strane, teorijski model refrakcije ne daje pun iznos posmatranog pomeraja, što čini pretpostavku o refrakciji manje sigurnom (str.107). Uporedjenje januarske i aprilske grupe posmatranja pokazuje da bi deo pomeraja položaja grebena mogao poticati od činjenice da su između $13^h 20^m$ i 15^h zastupljeni samo aprilski podaci koji su prema poredjenju sa okolnim oblastima viši od januarskih. Poredjenje aprilskih podataka međusobom ne daje pouzdane podatke o položaju grebena Luka jer su posmatranja tako obavljena da ona na $\delta = 15^{\circ}$ i $\delta = 20^{\circ}$ nisu iz iste serije, pa ne mogu dati željenu tačnost. Deklinacijski premer na oko 15^h pokazuje maksimum na $\delta = 20^{\circ}$, u obe sezone merenja.

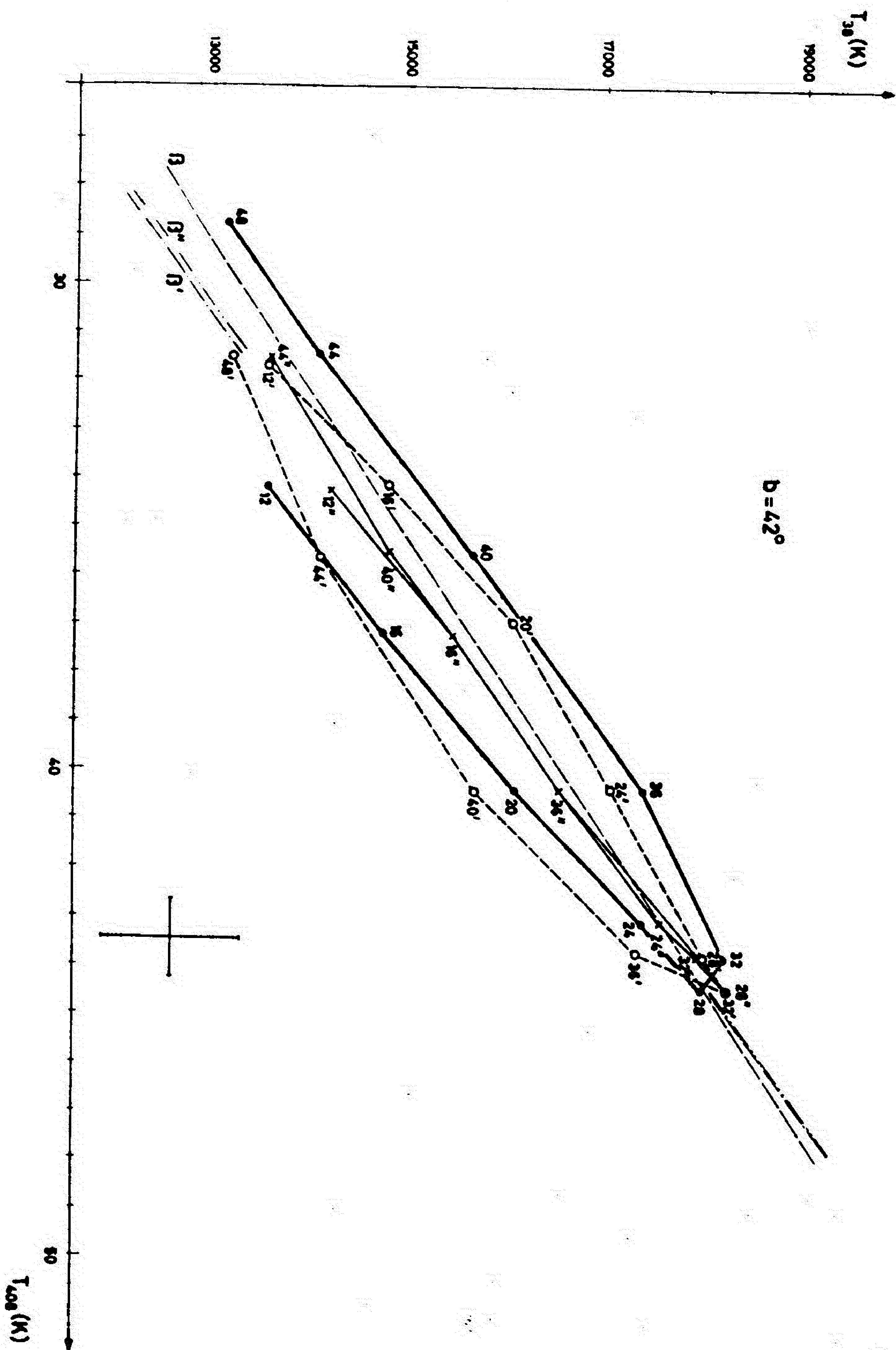
Pomeraj grebena je u stanju da izazove pojavu petlje na T-T grafiku, jer je formalno ekvivalentan uvodjenju nove komponente. Histerezis izazvan neastronomskim uzrocima se mo

razlikovati od onog što je vezan sa radio-lukom eventualno po tome što van oblasti lukova petlja na T-T grafiku poreklom od luka treba da se zatvori, dok artefact petlja ne mora. U idealnom slučaju, u delu gde Severni Polarni Luk teče skoro paralelno dnevnom paralelu, otvor refrakcijskog histerezisa bi trebalo očekivati približno isti, odnosno, ako uzmemo promenu jonizacij sa vremenom, otvor na manjim latitudama bi se mogao očekivati da bude nešto veći.

Tačnost raspoloživih podataka je za sada suviše mala da bi se takvi sekundarni efekti mogli pouzdano utvrditi. Podaci na 38 MHz nisu u dovoljnoj meri ni homogeni, pa stoga nije ni iznenadjujuće što takva zavisnost širine otvora od rektascenzije nije uočena.

Autor ove teze je testirao uticaj pomeranja grebena na T-T grafike i utvrdio da je oblik grafika veoma osetljiv na pomeranje položaja grebena na jednoj učestanosti. Pomeranje može skoro dovesti tačke na istu pravu, a može čak i obrnuti stranice petlje T-T grafika. Na slici 90. kružićima su označene tačke dobijene pomeranjem tačaka na 38 MHz za jedan interval (4°) prema nižim longitudama. Kao što se vidi, one obrazuju inverznu T-T petlju kod koje gornji deo odgovara nižim longitudama, a donji deo višim longitudama. Nepomerane tačke daju onakav raspored kakav je uočila i Berkhuisenova (Berkhuijsen 1971); gornji deo T-T grafika odgovara višim longitudama, a donji deo grafika nižim longitudama.

Pomeranje tačaka na 38 MHz za 2° (krstići) dovodi ih sve praktično na jednu pravu. Najbolje podešene prave linije u oba slučaja su bliske srednjoj pravoj povučenoj kroz osnovni "nepomereni" grafik, što znači da su paralelne stranicama petlje. Najviše od srednje prave odstupa najbolje podešena prava



Slika 90. Uticaj pomeranja položaja grebena luka na $T - T$ grafik.

osnovnog grafika. Spektralni indeksi koji iz njihovih nagiba slede leže unutar greške ($\beta = 2,44 \pm 0,05$, $\beta_{20} = 2,48$, $\beta_{40} = 2,49$, određeni metodom najmanjih kvadrata).

Ovaj numerički eksperiment pokazuje da se mora biti veoma oprezan pri interpretaciji oblika T-T grafika. Najpouzdanija veličina u T-T grafiku pokazuje se da je nagib srednje prave; u suštini zbog paralelnosti grana. To je povoljna okolnost, jer je upravo nagib potreban za izračunavanje spektralnih indeksa.

Ovaj primer donekle, a naročito neki drugi primeri, pokazuju da je opasno formalno primenjivati metodu najmanjih kvadrata, jer u nekim kombinacijama tačaka, najbolje podešena prava metodom najmanjih kvadrata može biti različita od srednje linije kroz T-T grafike, i njen nagib može biti drukčiji od nagiba stranica T-T grafika.

Ovo je naročito važno s obzirom na to da ovde predloženi polivektorni modeli smatraju upravo nagib srednje prave, odnosno stranice, parametrom koji daje spektralni indeks Luka.

Medjutim, i pored svih otežavajućih činjenica, autor ove teze smatra da kvazi-histerezis, odnosno petlja, stvarno postoji i da, i pored komplikacija sa položajem grebena, postoji i realna komponenta drukčijeg spektralnog indeksa od indeksa Luka, severno od grebena.

Na to ukazuje sličnost deklinacionih T-T grafika iz ove teze sa T-T graficima Kejmbridžske škole (Bridle 1967, Sironi 1974, Webster 1974) i sličnost latitudnih T-T grafika iz ove teze sa latitudnim T-T graficima Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971). U ovom trenutku nije jasno kako treba protumačiti rezultat Vilsona (Wilson 1975) koji je dobio između 820 MHz i 408 MHz veoma slab histerezis efekat i to

suprotan od efekta koji je našla Berkuhsenova (Berkhuijsen 1971).

U prilog realnosti kvazi-histereza govori i činjenica da je on posmatran i u slučaju drugih lukova (6.2.5) između 38 MHz i 408 MHz i to u delovima neba gde refrakcija ne bi trebalo da bude od uticaja.

Kvazi-histereza postoji i na latitudnim T-T graficima između 38 MHz i 404 MHz, iako je razlika u grebenima na tim učestanostima beznačajna. Razlika u izgledu između Severnog Polarnog Luka na 404 MHz i 408 MHz može se pripisati nedovoljno čestom uzimanju uzoraka na 404 MHz. No, pošto i karte ukupnih spektralnih indeksa između 38 MHz i 408 MHz, i između 38 MHz i 404 MHz, pokazuju iste bitne osobine koje se i vide u T-T graficima, zaključak je da je bar glavni deo petlji na T-T graficima između 38 MHz i 408 MHz potiče od astronomskih uzroka.

Iako je astronomsko poreklo dela efekta petlje svim ovim argumentima dokazano, kvantitativni zaključci se iz veličine kvazihistereza ipak ne mogu izvlačiti s obzirom na greške merenja: razlike između januarskih i aprilskih merenja i refrakciju,

O uticaju grešaka merenja na inverziju T-T grafika između 10 MHz i 38 MHz treba reći posebno, jer je to najosetljiviji deo interpretacije T-T grafika Severnog Polarnog Luka izvedenih u ovoj tezi.

Naime, ako je greben Severnog Polarnog Luka na ovde podnetom pregledu na 38 MHz zbog grešaka prikazan na većim δ , ili δ , u odnosu na preglede iste razdvojne moći na 10 MHz i 408 MHz, onda se može očekivati upravo takav efekat kakav je i

zapažen: normalni latitudni T-T grafik između 408 MHz i 38 MHz, a inverzan između 38 MHz i 10 MHz. Pri tome se T-T grafici neće završavati oštrim vrhom na grebenu, gde obe temperature dostižu maksimum. Maksimum će se pre dostići na nižim longitudama za temperature na 408 MHz i 10 MHz nego na 38 MHz.

Podrobno poredjenje T-T grafika između 10 MHz i 38 MHz i T-T grafika između 38 MHz i 408 MHz iste latituda pokazuje da se u graficima invertuju i detalji.

Ukoliko bi pak inverzija T-T grafika između 38 MHz i 10 MHz bila astrofizičkog porekla, to bi značilo da se u tom rasponu učestanosti ponašanje komponenata vezanih za Luk menja.

U četverovektornom modelu koji je predložen za opseg 38 MHz - 408 MHz, inverzija bi mogla nastati ako bi se vektor \vec{h} prebacio s druge strane vektora \vec{s} . U principu to se može dogoditi ako spektralni indeks komponente \vec{h} promeni znak i veličinu u podesnom iznosu ili ako se pojavi još jedna nova komponenta koja bi, sabirajući se vektorski sa vektorom \vec{h} , dala zapaženi efekat. Ovako naglo pojavljivanje nove komponente je veoma neverovatno, dok prevaljivanje spektra preko maksimuma treba kad tad na nekoj učestanosti očekivati. Međutim, s obzirom da mi ništa ne znamo o spektru komponente \vec{h} , svaka procena efekta bi bila veoma nepouzdana.

Slično razmišljanje važi i za komponente \vec{h} i \vec{f} u predloženom petovektornom modelu, s tim što bi procena bila još teža.

Medju kosmičkim izvorima su poznati slučajevi zakrivljenih spektara, što doduše ne mora značiti da je i ovde takav slučaj.

Razmišljajući, u svetlosti svih navedenih argumenata autor ove teze smatra da je ipak najverovatnije tumačenje inverzije histerezisa pomeraja grebena na 38 MHz izazvan posmatračkim greškama na 38 MHz.

Nova merenja u toj oblasti će tek dati pravi odgovor.

6.4. SPEKTAR SEVERNOG POLARNOG LUKA

6.4.1. Uvod

Zadatak koji se posle određivanja spektralnih indeksa Severnog Polarnog Luka u dva opsega učestanosti sam nametao bio je da se oni slože u jednu celinu, po mogućnosti uključujući i rezultate drugih autora. Ta celina je radio-spektar tog objekta, karakteristika koja je neophodna za razumevanje procesa koji se u tom objektu događaju.

Radio-spektar Severnog Polarnog Luka, koji predstavlja jedan od glavnih objekata na radio-nebu, nije dobro poznat, što je zbog čudjenja. Većina prethodnih rezultata nije objavljena i može se naći samo po doktorskim disertacijama. Mnogi od njih su bili protivurečni. Velika odgovornost je stoga ležala na autoru ove teze da svojim rezultatima i ispitivanjima otkloni postojeće protivurečnosti i doprinese poznavanju spektra ovog važnog objekta.

U sledećim poglavljima izneti su prethodni rezultati i njihova reanaliza, dok je na kraju data sintetizovana slika radio-spektra kako ju je izveo autor ove teze.

T a b l i c a 16.
Spektar Severnog Polarnog Luka do 1982.godine

| Autor | Godina | β_{Δ} | Opseg učestanosti MHz | f_{g} | Razdvojna moć |
|---------------|-------------------|------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|
| Guidice * | 1971 | 2,43 \pm 0,1 | 22,3 - 38,75 | 29,4 | 2° - 3°,3 |
| Bridle | 1967 | 2,1 \pm 0,2 | 17,5 - 81,5 | 38 | 17° x 12° |
| Purton | 1966 | 2,1 \pm 0,3 | 10 - 178 | 42 | 2° |
| Holden | 1967 | 2,3 | 38 - 178 | 82 | 45', 23' x 18' |
| Baldwin ** | 1967 | 2,7 | 38 - 237 | 92 | |
| Landecker *** | 1969 | 2,59 \pm 0,1 | 85 - 150 | 113 | 3°,5 x 3°,8 |
| Pugh | 1964 | 2,4 | 38 - 404 | 124 | 6°,5 |
| Davies† | 1964 | 2,55 \pm 0,08 | 38 - 237 - 1415 | 232 | 2°; 1°,1; 0°,3 |
| Bingham | 1967 | 2,8 | 178 - 240 - 400 | 267 | 13°,4 x 4°,6; 1°; 2°,2 x 1°,7 |
| Berkhuijsen | 1971 | 2,66 \pm 0,2 | 240 - 820 | 444 | 1°,2 |
| Pugh | 1964 ^H | 2,0 \pm 0,3 | 17,5 - 178 | 558 | 15° x 44° |
| Wilson†† | 1975 | 2,8 \pm 0,17 | 408 - 820 | 578 | 1°,2 |
| Bridle††† | 1967 | 2,6 (2,9) | 178 - 3000 | 731 | |
| Webster | 1971 | 2,88 (3,1) | 408 - 610 - 1407 | 758 | 15° x 15° |

* Gidićijev podatak 2,50 se odnosi na ukupan spektralni indeks. Iz Gidićijevog materijala autor ove teze je dobio $\beta_{\Delta} = 2,43 \pm 0,11$ gde je greška samo interne prirode.

** Diferencijalni spektralni indeks i opseg učestanosti su približni, jer su iz Boldvinovog preglednog članka u kome se pominju neobjavljeni rezultati, čiji detalji nisu poznati.

*** Rezultat dat ovde je srednja vrednost onih koje navodi Berkhujsenova (Berkhujsen 1971). Uvidom u Landekerovu disertaciju može se videti, da su to ustvari ukupni spektralni indeksi.

! Greška koju navodi DeJvis, ni u kom slučaju ne može biti ukupna greška, s obzirom na tačnost polaznih podataka i njihovu kompatibilnost.

++ Greška koju navodi Vilson u svojoj tezi je 0,05. Međutim, to je samo interna greška jer ne uključuje greške pregleda neba koje je on koristio. Vrednost data ovde je bila izračunata, uzimajući 10% za grešku pregleda na 408 MHz i 6% za grešku pregleda na 820 MHz.

+++ Ovaј rezultat navodi Holdenova (Holden 1967) kao privatno Braјdlovo saopštenje.

6.4.2. Kratak pregled prethodnih istraživanja

Većina prethodnih spektralnih indeksa dobijenih pre 1967. godine bila je prikupljena od strane Holdenove (Holden 1967). Od tog vremena Landeker (Landecker 1969), Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971), Webster (Webster 1974) i Wilson (Wilson 1975) su dodali svoje rezultate poznavanju spektra Severnog Polarnog Luka na učestanostima iznad 85 MHz. Svi do sada dobijeni spektralni indeksi su dati u tabeli 16, zajedno sa bitnim podacima, redom prema geometrijskoj (logaritamskoj sredini korišćenih učestanosti (f_g)). Samo u ponekim, označenim slučajevima, greške su bile ponovo računate radi standardizacije tabele, u kojoj se želelo da ukupna greška bude izneta. Rezultati dobijeni od strane autora ove teze nisu uključeni u tabelu 16.

Iz svih rezultata dobijenih pre 1967. bilo je logično da se zaključi, kao što je to Holdenova i učinila (Holden 1967) u svojoj doktorskoj tezi, da je spektar Luka zakrivljen tako da spektralni indeksi postaju negativni negde ispod 30 MHz. Zaključak Holdenove je naveden u Websterovom radu (Webster 1974) o spektralnim indeksima.

Ni Webster ni drugi autori nisu obratili pažnju na posmatranja Severnog Polarnog Luka na niskim učestanostima koje je obavio Gidiči (Guidice 1971) sa velikim teleskopom u Aresibu. Iako je razdvojna moć tih posmatranja nejednaka, razlika nije tolika da se ne može zaključiti da je savijanje spektra Severnog Polarnog Luka ispod 30 MHz nepostojeće. Objavljena u malo poznatom, teško pristupačnom, vojnom časopisu, Gidičijeva posmatranja su ostala nezapažena. Ni sam Gidiči ih nije u potpunosti i pravilno iskoristio.

Tek merenja na 10 MHz koja je objavio Kasvel (Caswell 1976) su ozbiljno uzdrmala shvatanja da spektar Severnog Polarnog Luka na nižim učestanostima nije tako strm kao spektar pozadine. Kasvel je zaključio "da je spektar Severnog Polarnog Luka između 10 MHz i 178 MHz bar isto toliko strm ako ne i strmiji od spektra okolnog galaktičkog zračenja". Kasvelov rezultat je u oprečnosti sa zaključcima prethodnika, izuzimajući malo poznata Gidičijeva merenja.

U ovoj tezi su stoga preduzeti koraci da se nanovo analiziraju prethodni radovi koji su izgledali ključni i za koje su bili raspoloživi potrebni podaci. Sem toga preračunati su i oni rezultati na koje je bilo moguće primeniti moderne kalibracione standarde i time poboljšati njihove vrednosti.

Pri poredjenju tih rezultata se ne može očekivati izvrsno slaganje, već i zbog toga što posmatranja nisu iste razdvojne moći. Ipak, s obzirom na velike ugaone dimenzije Luka, razlike ne bi trebalo da budu prevelike ukoliko razdvojnica moć nije ispod 1° , kada se Luk vidi razložen na sitnije delove.

6.4.3. Reanaliza spektralnih indeksa Severnog Polarnog Luka između 17,5 MHz i 81,5 MHz

Ova reanaliza je od posebnog značaja jer su upravo ta merenja (Bridle 1967) između 17,5 MHz i 81,5 MHz bila osnova za ideju o postojanju maksimuma u spektru negde oko 30 MHz.

Brajd1 je u svom poznatom radu (Bridle 1967 b) napisao da tačke na T-T grafiku koje odgovaraju Severnom Polarnom

Luku leže ubedljivo ispod linije koja odgovara oblasti 2, na čijoj se granici Severni Polarni Luk nalazi. Koristeći svoju procenu sjaja izotropne vangalaktičke komponente, Brajdl nalazi da između $\alpha = 14^h$ i $\alpha = 16^h 30^m$, spektar Severnog Polarnog Luka mora imati $\beta(17,5; 81,5) = 2,1 \pm 0,2$. U svojoj doktorskoj tezi (Bridle 1967 a) Brajdl podrobnije objašnjava kako je do tog broja došao. On kaže "da je Luk bio izdvojen od pozadine crtajući temperature na 81,5 MHz za razne deklinacije, a za iste rektascenzije; između 14^h i $16^h 30^m$ takvi preseki idu duž linija upravnih na sjajni greben Luka. Pošto merenja na 81,5 MHz ne idu južnije od deklinacije $+16^\circ$, slični preseki su uradjeni na osnovi podataka na 178 MHz (Turtle and Baldwin 1962), pa su korišćeni kao pomoć pri odvajanju koje je izvršeno vizuelno".

Autor vidi sledeće nekorektnosti u Brajdlovom radu:

Brajdl je primenio tehniku odvajanja nesigurnu u većoj oblasti neba.

Koristio je merenja na 178 MHz, koja su oko 4 puta veće razdvojne moći no merenja na 81,5 MHz, da bi odvojio Luk na 81,5 MHz. Takva razlika u razdvojnim moćima može uneti znatnu grešku.

Pored toga, linije konstantne rektascenzije nisu linije konstantnih galaktičkih latituda, tako da pozadina duž linija konstantne rektascenzije ne mora biti konstantna i to na obema učestanostima. Brajdl je očevidno smatrao da je dovoljno što će i merenja na 178 MHz i 81,5 MHz uzimati duž istih linija.

Sem toga Brajdl je pretpostavio da je spektralni indeks kako galaktičke, tako i vangalaktičke komponente u ovoj oblasti konstantan.

Tu je upravo, prema saznanju do kojih je autor ove teze došao, najveća greška.

Ukoliko se u pogledu spektra oblast južnije od $\zeta = 16^\circ$ ponaša drukčije no oblast severnije od $\delta = 16^\circ$, onda se podaci na 178 MHz ne mogu koristiti za odvajanje na 81,5 MHz, kao prvo. Materijal ove teze pokazuje da je razlika u spektrima ove dve oblasti medju najvećima na severnom nebu. Prema karti spektralnih indeksa sa slike 64, sledi da će nizak indeks južno od $\delta = 16^\circ$, a visok severno od $\delta = 16^\circ$ dovesti do toga da će pozadina južnije od $\zeta = 16^\circ$ na 81,5 MHz biti prece- njena ako se izvede iz pretpostavke da su preseci na 81,5 MHz i 178 MHz slični. Upravo takav tip greške, tj. oduzimanja komponente koja bi imala viši indeks od prosečnog bi dovela do premalog spektralnog indeksa samog Severnog Polarnog Luka. Greška će biti utoliko veća ukoliko se ide dalje u učestanostima. Brajdl je išao do 17,5 MHz, što je deset puta niža učestanost od one na kojoj su osnovni preseci dobijeni. Metod koji je usvojio Brajdl može dati približno tačne rezultate, ali svakako ne i u slučaju takvih ekstrema kao što je oblast severno od grebena Luka i rupe u Vagi, jer upravo o tim se oblastima u njegovom radu radi. Brajdl doduše ne kaže eksplicitno kako je izveo spektralni indeks Severnog Polarnog Luka, ali se po izlaganju u njegovoj tezi može zaključiti da je on oduzeo procenjenu (pogrešno) galaktičku i izračunatu vangalaktičku komponentu, i da je tada ostalo samo ono što bi po njegovom mišljenju bilo zračenje Luka. Ukupni spektralni indeks tog dela zračenja je ono što je Brajdl smatrao spektralnim indeksom Luka. Logično je, da je on precenjivanjem sjaja i spektralnog indeksa pozadine morao doći do preniskog spektralnog indeksa Luka.

Tumačenje da se radi o pogrešno uzetom modelu u kome je "strmija no prosečno" pozadina oduzeta, dao je i Kasvel (Caswell 1976), tumačeći razilaženje između svojih i Brajdlovih rezultata.

U ovoj tezi je, međjutim, greška tačno locirana i potkrepljena podacima o spektralnoj raspodeli. Čak i da spektralni indeks rupe u Vagi nije tako nizak, malo je verovatno da je on toliko visok koliko spektralni indeks oblasti severno od Severnog Polarnog Luka. Jedino ako je isti, Brajdlov postupak bi dao tačan rezultat.

Brajdlov zaključak da je spektar Luka manje strm od spektra oblasti koju on naziva oblast 2, a koju u ovoj tezi nazivamo oblašću severno od Severnog Polarnog Luka, je tačan, ali su mu interpretacija te činjenice i vrednost spektralnog indeksa pogrešne. Možda ga je povuklo i to što je Perton u svojoj tezi (Purton 1966 b) dobio nisku vrednost (za koju je ovde pokazano da je pogrešna).

Pošto za sada ne raspolažemo vrednošću spektralnog indeksa pozadine na niskim učestanostima i severno i južno od Luka, nije moguće u ovom trenutku revalorizovati vrednost spektralnog indeksa Luka između 17,5 i 81,5 MHz Brajdlovom metodom.

Zbog toga je u ovoj tezi revalorizacija izvršena preko T-T metode, primenjene na originalne Brajdlove podatke na 17,5 i 81,5 MHz. Da bi se smanjio uticaj promenljivosti pozadine, podaci su uzimani za linije konstantnih galaktičkih latituda. Pošto su merenja izvedena u (α, δ) sistemu potrebni podaci su dobijeni interpolacijom sa deklinacionih preseka, $\delta = 16^\circ$ i $\delta = 35^\circ$, na obema učestanostima, grafičkom metodom. T-T grafici nisu crtani jer se za svaku latitudu raspolagalo

samo sa dvema tačkama. Osnovnu pretpostavku da se pozadina u posmatranom, srazmerno malom, rasponu galaktičkih longituda ne menja znatno sa longitudom smatraćemo zadovoljenom u prvim. Strogo rečeno to zavisi od toga šta ćemo smatrati pozadinom, odnosno o kom modelu tog dela neba je reč. Pošto je antenski snop u Brajdlovom eksperimentu bio po deklinaciji širok 17° , on u suštini zahvata na $\delta = 35^\circ$ oblast visokog indeksa, a na $\delta = 16^\circ$ oblast nižeg indeksa oko grebena Luke. Razlika srednjih ukupnih indeksa unutar snopa od 17° bila bi oko 0,03, sudeći po karti spektralnih indeksa iz ove teze između 38 MHz i 404 MHz. Ne bi trebalo očekivati da između 17,5 i 81,5 MHz bude drastično drukčije. Razlika u indeksima pozadine u ove dve oblasti mora biti manja jer u ukupni indeks ulazi i sam Luk i oblast severno od njega.

Izračunate vrednosti su date u tablici 17.

Navedena greška je interne prirode. Uzimajući da je greška nivoa na 17,5 MHz oko 5%, a na 81,5 MHz oko 4%, dobijamo da je ukupna greška

$$\xi = \sqrt{\xi_{81,5}^2 + \xi_{17,5}^2 + \xi_A^2} = 0,05.$$

Otuda je revalorizovana vrednost spektralnog indeksa

$$\beta(17,5; 81,5) = 2,29 + 0,05$$

Ona je znatno viša od prvobitne Brajdlove vrednosti, mada leži na granici greške koju on navodi.

Ovakva vrednost ne zahteva postojanje maksimuma u spektru između 38 MHz i 17,5 MHz za koji se verovalo da postoji (e.g. Holden 1967).

T a b l i c a 17.

temperaturski diferencijalni spektralni indeks Severnog
Polarnog Luka izmedju 17,5 MHz i 81,5 MHz

| b° | β_{Δ} |
|-------------|------------------|
| 70 | 2,28 |
| 65 | 2,25 |
| 60 | 2,24 |
| 55 | 2,25 |
| 50 | 2,22 |
| 45 | 2,28 |
| 40 | 2,35 |
| 35 | 2,38 |
| 30 | 2,38 |

Srednja vrednost datih vrednosti je

$$\bar{\beta} = 2,29 \pm 0,02$$

Ona se dobro uklapa u rezultate dobijene u ovoj tezi na osnovi konvoluiranih Kasvelovih podataka i merenja na 38 MHz. To se jasno vidi sa slike 91, gde su naneti pouzdaniji spektralni indeksi u funkciji učestanosti.

Treba imati u vidu da je ova vrednost, pošto je dobijena T-T metodom primenjenom na parove tačaka, veoma osetljiva na sve greške, pa je moguće da je stvarna greška čak i veća od izračunate.

Sem toga treba imati u vidu da su unutar posmatrane oblasti zahvaćeni i sam Luk i oblast severno od njega.

6.4.4. Reanaliza spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka izmedju 10 MHz i 178 MHz

Istraživanje Severnog Polarnog Luka na 10 MHz i spektralnog indeksa izmedju 10 MHz i 178 MHz, koje je izvršio Perton za svoju doktorsku tezu (Purton 1966b), nije nikada objavljeno jer je sam autor smatrao da rezultati nisu dovoljno pouzdani. Medjutim, posredno ti rezultati su uticali na stvaranje javnog mnjenja o tom problemu, jer ih je naveo u svom preglednom radu Boldvin (Baldwin 1967), a preko Boldvina i Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971).

Koristeći Pertonovu tezu, koju je autoru ove teze sam Perton ljubazno stavio na raspolaganje, autor ove teze je uspeo da nadje mogući izvor greške u rezultatima i tako otkloni dugotrajni izvor pogrešnog shvatanja o spektru Luka stvoren Pertonovim i Brajdlovim rezultatima.

Glavni uzrok greške je, po saznanju autora ove teze, nestabilnost pojačanja signala u Pertonovom eksperimentu na 10 MHz. Prema rečima samog Pertona "da bi se to uzelo u obzir

varijacije temperature sjaja duž date rektascenzije crtane su koristeći sirove podatke u oblasti neba između 9^h i 12^h rektascenzije. Glatke krive su se mogle lako podesiti prema podacima iz glatkih, nerazuđenih oblasti neba. Zapisi sa svake deklinacije su tada povezani sa temperaturama sjaja nadjenim u ovom opsegu rektascenzije.

Upravo to podešavanje je uzrokovalo neželjene posledice. Tim podešavanjem može se postići da se stvarni nebeski objekti izbrišu sa karte, a nerealni da se nehotice pojave. Već prvi pogled na kartu temperatura sjaja na 10 MHz iz Pertonove teze pokazuje da na njoj ne postoji most između dve severne hladne rupe (luk na $\delta = 20^\circ$, $\lambda = 9^h$). Slučajno blizu te iste deklinacije $\delta = 20^\circ$ leži i glavni greben Severnog Polarnog Luka. Prema tome, podešavajući prema preniskim hladnim rupama, Perton je snizio temperature sjaja Severnog Polarnog Luka, što je dovelo do višestrukih posledica. Prvo, Severni Polarni Luk je na njegovoj karti postao beznačajan objekat, drugo, kombinacijom sa podacima na 178 MHz dobijen je nerealno nizak spektralni indeks Luka. Taj indeks je računat oduzimanjem sjaja pozadine što je, kao što je izloženo, takodje nepodesan postupak. Sem toga Perton je prešao preko razlike u razdvojnim moćima na 178 MHz i 10 MHz, što je samo po sebi loš postupak. Perton je čak zbog prevelikog sniženja podešavanjem došao do zaključka da na $l = 320^\circ$, $b = 75^\circ$ i $l = 35^\circ$, $b = 20^\circ$, na 10 MHz, postoje oblasti jače apsorpcije od strane H II.

Na pregledu anticentra na 10 MHz, koji je načinio kasnije Kasvel (Caswell 1976), Severni Polarni Luk je upadljiv objekat. Uopšte, Kasvelova karta u mnogome liči na karte sa drugih učestanosti, što nije slučaj sa Pertonovom kartom.

Odnos najhladnijeg dela (severne rupe) i mosta na $\delta = 20^\circ$ u pregledu na 10 MHz koji je načinio Kasvel (Caswell 1976) je 1,6. On je takodje podešavao deklinacione preseke, ali onako kako je pravilno, prema oblasti izmedju 7^h i 8^h rektascenzije gde izofote teku skoro duž deklinacijskih krugova kako se zna iz drugih radova.

Vrednost ovog odnosa je upravo vrednost koeficijenta kojim bi trebalo podeliti Kasvelove temperature na $\delta = 20^\circ$ sa namerom da se potisne luk - most na $\delta = 20^\circ, \alpha = 9^h$.

Da bi ispitao razlog razlike izmedju Pertonovog i Kasvelovog pregleda neba, temperature po sjaju su bile očitane sa obe karte duž deklinacija $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 40^\circ, i 50^\circ$, u zajedničkoj oblasti rektascenzija $6^h < \alpha < 15^h,5$. Vrednosti za $0^\circ < \alpha < 6^h$ nisu uzimane jer je sam Perton tvrdio za svoje podatke u tom delu da nisu pouzdani.

Srednja vrednost odnosa izmedju temperatura koje je merio Kasvel i onih koje je merio Perton za izabrane deklinacije je dat u tablici 18.

T a b l i c a 18.

Odnos temperatura po sjaju na pregledima neba na 10 MHz

(Caswell 1976, Purton 1966 b)

| δ | T_c / T_p |
|------------|-------------------|
| 0° | $1,352 \pm 0,019$ |
| 10° | $1,521 \pm 0,095$ |
| 20° | $2,008 \pm 0,107$ |
| 40° | $1,283 \pm 0,081$ |
| 50° | $1,504 \pm 0,117$ |

Očividno je da je odnos temperatura na $\delta = 20^\circ$ ubedljivo veći od drugih. Taj odnos je takav čak ako se tačke izmedju 12^h i 15^h , koje leže na Severnom Polarnom Luku, isključe iz analize.

Ako se izvrši popravka Pertonovih temperatura, vrednost spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka, neće biti $2,1 \pm 0,3$, izmedju 10 MHz i 178 MHz, već

$$\beta_{\Delta} = 2,34 \pm 0,3$$

Ovakva vrednost spektralnog indeksa je u potpunosti u skladu sa onom koja se očekuje sa grafika sa slike 91. na kojem su dati spektralni indeksi u funkciji srednje geometrijske vrednosti korišćenih učestanosti.

6.4.5. Reanaliza Bingamovog rezultata

Bingam je, uz polarizaciju radio-zračenja koju je merio, u svojoj tezi (Bingham 1966 a) pokušao da iz tuđih podataka izvede i spektralni indeks Severnog Polarnog Luka. Koristeći preglede na 178 MHz (Turtle and Baldwin 1962), na 240 MHz (Haslam et al. 1964) i 400 MHz (Seeger et al. 1965) on je izveo spektralni indeks od 2,8. Taj rezultat je koristila Holdenova, a na njega je možda mislio i Baldwin u svom preglednom članku (Baldwin 1967) o kome se govori i u 6.4.7.

Kako se vidi iz Bingamove teze, on je izdvojio zračenje Luka od pozadine, oduzimajući procenjenu vrednost emisije u oblastima van Luka na sličnim latitudama. Na ta tri pregleda to je moguće učiniti, jer obuhvataju obe strane Luka. Tim postupkom on je dobio i da maksimum zračenja Luka leži o latitude 20° . Proverom brojeva sa Bingamovog crteža utvrđeno

je da su podaci sa 240 MHz uzimani ili bez ikakve korekcije skale ili je pak korekcija od 0,96 (Haslam et al.1964) uzeta, ali se utopila u proceni pozadine. Iz Bingamove teze, autor ove teze ne vidi da je Bingam pokušao da na neki način uzme u obzir razliku u razdvojnim moćima.

U ovoj tezi pokušalo se da se, polazeći od istih podataka, poboljša spektralni indeks između 178 MHz, 240 MHz i 400 MHz.

Prevodeći razliku uslovnih jedinica na razliku temperature sjaja prema Solteru i Feliju (Salter and Felli 1973), dovodeći skalu na 240 MHz u sklad sa skalom Barsa sa saradnicima (Baars et al.1977) pomoću faktora 1,07 i ispravljajući podatke na 178 MHz za premalu razdvojnu moć u deklinaciji dobijeno je T-T metodom primenjenom duž Luka oslobođenog pozadine:

$$\beta_{\Delta}(240, 400) = 2,54 \pm 0,3,$$

$$\beta_{\Delta}(178, 400) = 2,47 \pm 0,2,$$

$$\beta_{\Delta}(178, 240) = 1,77 \pm 0,4.$$

Vrednost spektralnih indeksa između 178 MHz i 240 MHz je od svih njih najmanje pouzdana jer su učestanosti veoma bliske. Navedene greške odražavaju samo rastur tačaka.

Ostale dve vrednosti leže u granicama grešaka u odnosu na vrednost koja bi se očekivala od grafika sa slike 91.

S obzirom da je ukupna greška još veća ne može se ovom rezultatu, bilo Bingamovom, ili ponovo izvedenom, pokloniti veća pažnja. Ona pokriva svojom veličinom i ostale nedostatke podataka i metode, kao što su razlika u instrumentima, koja nije uzeta u obzir, i mogućnost prisutnosti komponente pozadinskog zračenja čiji indeks zavisi od latituda, a nije oduzeto.

6.4.6. Reanaliza diferencijalnog spektralnog indeksa
Severnog Polarnog Luka između 820 MHz i 240 MHz

Diferencijalni spektralni indeks $\beta_{\Delta}(240, 820)$ je dobijen od strane Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971) iz njenih podataka na 820 MHz i podataka Lardža sa saradnicima (Haslem et al. 1964) na 240 MHz. Indeks se može popraviti ako se ti podaci rekaliбриšu prema najnovijim standardima.

Pre svega još je Lardž sa saradnicima (Large et al. 1966), u njihovom drugom članku o Severnom Polarnom Luku, naveo da bi temperature na 240 MHz trebalo pomnožiti sa 0,96 da bi se ispravile prema novijoj vrednosti standardnog kalibracionog izvora Vir A, koju su izveli Konvej sa saradnicima (Conway et al. 1963).

Nedavno je Bars sa saradnicima (Baars et al. 1977) objavio veoma tačnu skalu gustina fluksa zračenja standardnih kalibracionih izvora koja zahteva izmenu CKL skale (Conway et al. 1963). Interpolacijom Barsovih standarda na 240 MHz dobija se da CKL skala mora na toj učestanosti da bude za faktor 1,115 veća da bi bila u skladu sa skalom Barsa i njegovih saradnika.

Obe korekcije zajedno dovode do faktora 1,07 kojim bi trebalo pomnožiti temperature na 240 MHz koje su objavili Lardž sa saradnicima, da bi se one svele na skalu Barsa sa saradnicima. Prevedeno u oblast spektralnih indeksa, to znači da vrednosti, koje je izvela Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971) treba dodati 0,06.

Posle ove korekcije srednja vrednost diferencijalnog spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka između 240 MHz i 820 MHz postaje 2,72.

Doduše pitanje je da li je ova vrednost konačna jer postoji sumnja da je možda nivo pregleda na 820 MHz suviše visok (Salter 1981). Prema (Berkhuijsen 1982) nivo u oblasti Luka nije sporan u granicama $\pm 5 \div 10\%$.

6.4.7. Diskusija ostalih spektralnih indeksa

Severnog Polarnog Luka

6.4.7.1. Uvod

Idući redom duž tabele, a izuzimajući već obradjene u prethodna tri pododeljka slučajeve, biće prodiskutovani kritički, u onoj meri u kojoj je moguće, svi pobrojani rezultati. Oni u najvećem broju nisu bili dostupni ponovnoj analizi zbog nedostatka potrebnih podataka ili zato što bi ponovna analiza zahtevala preveliki dodatni rad.

6.4.7.2. Diskusija Gidičijevog rada

Gidičijev rezultat, iako naveden u njegovom radu (tezi) kao spektralni indeks Luka, ustvari, kako je proverom utvrđeno, jeste ukupni spektralni indeks oblasti Luka. Prilikom provere je potvrđena sumnja da Gidiči nije uzimao u obzir razliku u antenskim snopovima na raznim učestanostima. Gidiči je, doduše, izvršio približno svodjenje sa antenskih temperatura na temperature po sjaju, ali koliko se moglo razumeti iz njegovog rada, nije svodio na istu razdvojnu moć.

Pošto je odnos učestanosti u njegovom eksperimentu 1 : 2, razlika u razdvojnim moćima se ne bi smela ignorisati. Jedina olakšavajuća okolnost je to da je struktura neba takva

da razlika u izgledu nije velika pri razdvojnoj moći od nekoliko stepeni, sve dok ne padne ispod jednog stepena.

Koristeći njegove podatke bez konvolucije, metodom T-T grafika dobijena je u ovoj tezi vrednost $\beta_A = 2,43 \pm 0,11$ gde je greška čisto unutrašnje prirode. Ukupna greška mora biti mnogo veća. Korišćene učestanosti su 22,30 i 38,75 MHz.

6.4.7.3. Diskusija Puovog rada

Rezultat Pua (Pugh 1964) nikada nije objavljen i može se naći u njegovoj doktorskoj tezi ili citiran u nekim tezama iz Kejmbridža. Uvidom u njegovu tezu videlo se da se i on koristio, i to pre Brajdlja, grafičkim postupkom za odvajanje Severnog Polarnog Luka od pozadine, služeći se preseccima kroz Luk sa pregleda na 178 MHz. Nedostatak tog postupka je već analiziran u 6.4.3. Može se jedino dodati da je Pu osećao da je taj postupak veoma nesiguran i da je glavni izvor greške, mada nije znao njegove nedostatke onako kako je to danas moguće sagledati.

Vrednost temperature sjaja Luka na 178 MHz služila mu je za izračunavanje dela koji je potrebno dodati da bi se T-T grafik u oblasti Luka oslobodio ulegnuća uzrokovanog Lukom. Pri tom računu Pu je pošao, kao i svi kejmbridžski autori, od toga da je oblast visokog indeksa van Luka pozadinom odnosno halo, što, kako je u prethodnoj glavi diskutovano, može biti potpuno netačno. Vrednost $2,0 \pm 0,3$ se, prema tome, mora uzeti sa velikom rezervom, mada se pri tako velikoj deklariranoj vrednosti greške može desiti da stvarni rezultat padne blizu njegove gornje granice za opseg 17,5 MHz - 178 MHz.

Pu je odredio i spektralni indeks Luka između 38 MHz i 404 MHz, koristeći Kenderdajnov pregled neba (Kenderdine 1963) i pregled neba koji su načinili Polini-Tot i Šejkšaft (Pauliny-Toth and Shakeshaft 1962). Srednja vrednost je 2,4. Pu je izvršio približno izglađivanje pregleda na 38 MHz na razdvojnu moć pregleda na 404 MHz. Međutim, s obzirom na ogromnu razliku upotrebljenih antena ne može se očekivati njihova zadovoljavajuća kompatibilnost, po mišljenju autora ove teze.

Sem toga, Kenderdajnov pregled je kasnije bio prevaziđen pregledom na 38 MHz Vilijemsa i dr. (Williams et al. 1966). Kenderdajnova skala je za 1,08 niža od Vilijamsove sa saradnicima. I ova poslednja treba da se poveća, da bi se dovela u sklad sa skalom Barsa i dr. (Baars et al. 1977), još za faktor 1,029. Sve te ispravke bi povećale vrednost spektralnog indeksa i dovele ga blizu rezultata iz ove teze. Tačan obračun faktora skale nema smisla, jer su drugi uticaji, kao što su bočni doprinosi, teško odredivi. Najveći izvor grešaka u tom rezultatu se može očekivati od samog postupka koji je Pu primenio: podešavanje izglađenih temperatura na 38 MHz temperaturama na 404 MHz za $\delta = 40^\circ$. Takvo podešavanje - izjednačavanje ne vodi računa o spektralnim osobenostima oblasti na $\delta = 40^\circ$.

Ono što nesumnjivo sledi iz rada Pua jeste činjenica da je oblast severno od Luka ($\delta = 40^\circ$) mnogo strmijeg spektra no oblast Luka ($\delta = 20^\circ$).

6.4.7.4. Diskusija rada Holdenove

Holdenova je odredjivala spektralni indeks Luka iz posmatranja veoma velike razdvojne moći na 38 MHz i 178 MHz. Dok je na $13^{\text{h}}30^{\text{m}}$ indeks 2,38 na $13^{\text{h}}50^{\text{m}}$ je 2,19. Moguće je da je Holdenova (Holden 1967) u pravu da je razlika uzrokovana stvarnom nejednakošću spektra. Za sada taj stav i rezultat nisu ni potvrđeni, ni opovrgnuti.

6.4.7.5. Diskusija Boldvinovog saopštenja

Rezultat dat u tablici, Boldvin je samo naveo u svom preglednom radu kao rad drugih istraživača, koji tek treba da bude objavljen. Pošto neki od njih nikad nisu štampani, ne može se reći ništa ozbiljnije o tome.

6.4.7.6. Diskusija Landekerovog rada

Landekerove ukupne spektralne indekse je u astronomski svet uvela Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971), citirajući ih medju svojim diferencijalnim spektralnim indeksima. S obzirom da su to dve različite vrste parametara, nije pravilno sastavljati ih zajedno. Medjutim, s obzirom da se iz njegove teze može videti više no što je navela Berkhuijsenova, ima smisla analizirati njegov rad.

Landeker je, po sopstvenim rečima, primenio T-T analizu na oblast $12^{\text{h}} \leq \alpha \leq 17^{\text{h}}$, $-20^{\circ} \leq \delta \leq 20^{\circ}$, koristeći Kenderdajmerenja na 38 MHz (Kenderdine 1963), svoja na 85 MHz i 150 MHz i Sigerova sa saradnicima na 400 MHz (Seeger et al. 1965).

Dobio je

$$\beta_{\Delta}(38, 85) = 2,4$$

$$\beta_{\Delta}(85, 150) = 2,75$$

$$\beta_{\Delta}(150, 400) = 2,9$$

za celu navedenu oblast.

Iako nije naveo greške, one moraju biti u suštini znatne, jer su parovi učestanosti bliski (1 : 2 do 1 : 3). Ove vrednosti se svakako moraju rekalibrisati, jer se zna da je Kenderdajnova skala suviše niska za 11%, a da su temperature sa pregleda na 400 MHz previsoke. Prema Solteru i Feliju (Salter and Felli 1973), ove poslednje se moraju korigovati i za nivo i za skalu. Podešavanje Solterove i Felijeve skale prema najnovijoj skali (Baars et al. 1977) zahteva množenje skale sa 1,007, što je zanemarljivo prema osnovnoj korekciji. Ona za 10 jedinica pregleda na 400 MHz iznosi 20%, a za 40 jedinica 17%. To znači da upravo u hladnoj rupi ispod Severnog Polarnog Luka su temperature koje je koristio Landeker 20%, odnosno 5 K previsoke. To se mora odraziti na spektralni indeks $\beta(150, 400)$ pod pretpostavkom da je $T(150)$ tačna, u spektralnom indeksu koji je 0,19 prenizak. Takva vrednost $\beta = 3,1$ leži daleko van poznatih vrednosti, pa radja sumnju da su merenja na 150 MHz tačna. Tu sumnju je nemoguće proveriti, sem pomoću novih posmatranja. Sličan je slučaj i sa Landekerovim indeksom (38, 85), koga zbog rekalibracije treba povećati za 0,13, pri čemu postoji mogućnost da je netačna ne samo skala na 38 MHz, već i nivo, koji tu nije obračunavan.

Medjutim, i bez sumnji u tačnost osnovnih podataka na 85 MHz i 150 MHz, očevidno je da je sama T-T analiza pre- više formalno primenjena od strane Landekera. On, doduše, kaže

da su spektralni indeksi izvedeni za celu oblast $12^h < \alpha < 17^h$ $-20^\circ \leq \delta \leq 20^\circ$, ali ne diskutuje uticaj pojedinih njegovih delova. Jedan njen deo koji leži izmedju 13^h i $14^h,5$ rektascenzije, $\delta \approx 5^\circ$ mora tu imati znatnu ulogu. To je ostrvo veoma visokog spektralnog indeksa izmedju 85 MHz i 150 MHz. Ta oblast je povukla u srednjoj vrednosti spektralni indeks cele oblasti ka višim iznosima.

Primenjujući kriterijume koje je Landeker sam predložio, autor ove teze je došao do zaključka da su posmatranja u tom delu dosta nepouzdana i da navedene T-T indekse ne treba ozbiljno uzimati.

Spektralni indeks, koji je Landeker za tu oblast dobio T-T analizom, ne može se smatrati spektralnim indeksom Severnog Polarnog Luka. Nemoguće je da Luk, koji se čak na Landekerovoj karti ukupnih spektralnih indeksa vidi kao obla sniženog indeksa, preko T-T metode se pojavi kao objekat visokog spektralnog indeksa.

Osnovni nedostatak Landekerovih rezultata je u to što su izabrane učestanosti previše bliske, pa i male greške merenja dovode do ozbiljnih grešaka u spektralnim indeksima.

6.4.7.7. Diskusija Dejvisovih rezultata

Dejvisov rad u vezi sa Severnim Polarnim Lukom spada medju ranije radove (Davies 1964). Njegova posmatranja na 237 MHz su ubrzo prevaziđjena boljim na 240 MHz (Haslam et al. 1964, Haslam et al. 1966). Već i sama ta činjenica bila bi dovoljna da spektralni indeks, koji je on izveo koristeći svoja posmatranja, predstavlja samo istorijski interes.

Kada tome dodamo da su i podaci na 38 MHz, koje je on koristio (Costain and Smith 1960), takodje prevazidjeni, a da se o njegovim posmatranjima na 1415 MHz ne može ništa podrobnije zaključiti, da konvolucija podataka nije vršena, vrednosti koje je on dobio treba shvatiti samo kao približne, iako je on naveo veoma malu grešku.

Nejednakost spektralnih indeksa koju je Dejvis našao u raznim delovima Luka, može biti realna, ali se u Dejvisovom radu zbog ostalih mogućih uzroka ne može smatrati pouzdano utvrđenom. Objekat na $\alpha = 13^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = 24^{\circ}$ za koji Dejvis navodi vrlo visok indeks je, izgleda, nerealan.

6.4.7.8. Diskusija Vilsonovog rezultata

Vrednost spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka razdvojne moći oko stepena između 408 MHz i 820 MHz bila je izvedena od strane Vilsona u njegovoj doktorskoj tezi (Wilson 1975). On je konvoluirao pregled na 408 MHz, u čijem je sastavljanju učestvovao, na razdvojnu moć pregleda na 820 MHz (Berkhuijsen 1971).

Iako je numerička vrednost diferencijalnog spektralnog indeksa, koju je on dobio T-T metodom, razumna, $\beta_{\lambda} = 2,80 \pm 0,17$, on je dobio inverzan efekat onome koji je dobila Berkhuijsenova u vezi sa histerezisom T-T grafika (Berkhuijsen 1971). Pošto je opseg učestanosti u radu Vilsona i Berkhuijsenove sličan, razlog se mora tražiti na drugoj strani. Da li to razilaženje znači i sumnju u njihove rezultate spektralnih indeksa ne možemo u ovom trenutku reći. Izvesno je da doprinos bočnih listova na 408 MHz nije

zadovoljavajuće obradjen i da bi taj efekat mogao u posmatranoj oblasti znatno da utiče.

6.4.7.9. Diskusija Brajdlovog saopštenja o spektru Severnog Polarnog Luka na visokim učestanostima

Rezultat o kome je reč citirala je Holdenova u svojoj doktorskoj tezi kao Brajdlovo privatno saopštenje "izmedju 178 MHz i 3000 MHz spektralni indeks je sigurno $> 2,6$, možda je i $2,9$ ". S obzirom da nikakvi drugi detalji nisu poznati, diskusija na ovome mora stati.

6.4.7.10. Diskusija Vebsterovog rezultata

Vebster je u svom radu iz 1974 (Webster 1974), istakao da su T-T grafici zasnovani na njegovim merenjima na 408 MHz, 610 MHz i 1407 MHz, na $\delta = 16^\circ$ nedvosmisleno pokazali da tačke koje se odnose na Severni Polarni Luk leže znatno višlje od onih koje se odnose na njegovu okolinu. On je iz toga izveo zaključak da je spektar Luka na visokim učestanostima znatno strmiji, no spektar opšte pozadine. Medjutim, pošto je radio-zračenje Luka veoma polarizovano, Vebster je pokušao da obračuna efekte polarizacije unutar snopa njegovih antena, ali je smatrao da izvedeni spektralni indeks nije dovoljno pouzdan da bi bio objavljen.

Vebster se ograničio da kaže "da je srazmerno strm spektar Luka na učestanostima iznad 408 MHz pouzdano utvrđen

U svojoj tezi Vebster, medjutim, daje i brojne rezultate. On kaže "najbolja procena spektra Luka izmedju

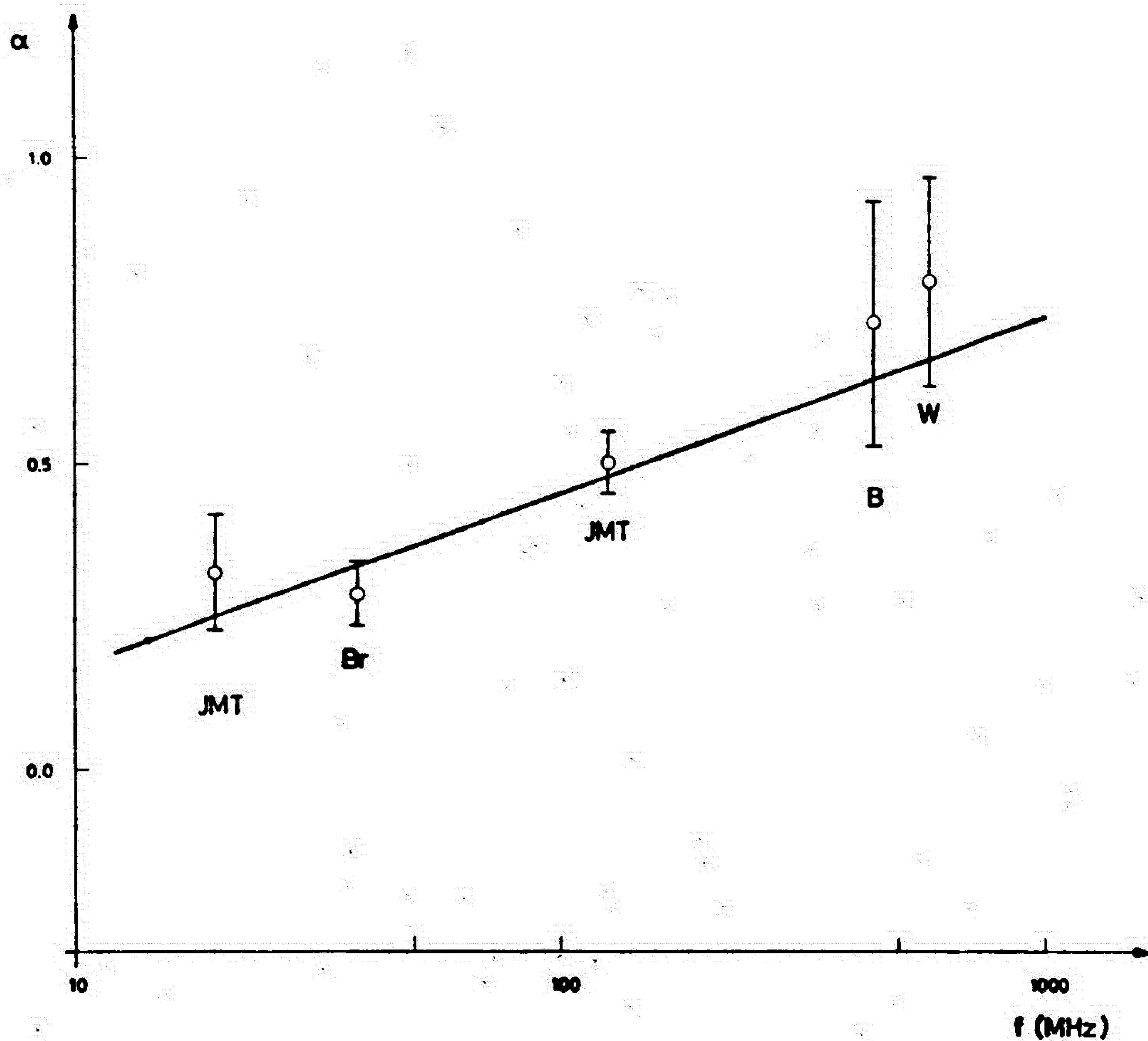
najpouzdanijih vrednosti spektralnog indeksa Severnog Polarnog Luka

| Opseg učestanosti | f_g geom. sredina učestanosti | β_{Δ} | Referenca |
|-------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|
| 10 - 38 | 19,5 | $2,32 \pm 0,08$ | Ova teza |
| 17,5 - 81,5 | 38 | $2,29 \pm 0,05$ | Bridle (1967b) ♦ |
| 38 - 408 | 125 | $2,50 \pm 0,05$ | Ova teza |
| 240 - 820 | 444 | $2,72 \pm 0,2$ | Berkhújzen (1971) ♦♦ |
| 408 - 820 | 578 | $2,80 \pm 0,17$ | Wilson (1975) ♦♦♦ |

♦ Realizirani podaci Brajda (Bridle 1967b) prema latitudnom T-T grafiku.

♦♦ Ovde su podaci na 240 MHz rekalkibrisani prema skali Barsa i saradnika (Baars et al. 1977).

♦♦♦ Greška je izvedena iz unutrašnje greške koju je dao Wilson i greške temperature od 10% na 408 MHz i 6% na 820 MHz.



Slika 91. Diferencijalni spektralni indeks fluksa zračenja Severnog Polarnog Luka kao funkcija učestanosti izveden iz podataka ove teze (JMT) i popraavljenih podataka Brajdlja (Bridle 1967) (Br), Berhuijsenove (B) i Vilsona (W).

učestanosti 408 i 610 MHz je otud $\beta = 3,1 \pm 0,3$. Greška je tu izjednačena sa razlikom od galaktičkog spektra da bi se pokrile nesigurnosti u izvodjenju..." Spektralni indeks između 408 i 1407^{Mhz} sledi iz njegove teze da je svakako veći od 2,88.

Razlika između Websterovog rezultata i rezultata Berkhujsenove (Berkhuijsen 1971) je manja od zbira grešaka, pa zato po Websterovim rečima tu razliku i ne treba smatrati značajnom, pogotovu što opsezi učestanosti nisu strogo podudarni.

Teško je bilo šta drugo dodati rečima samog autora u ovom slučaju.

6.4.8. Sintetizovani spektar Severnog Polarnog Luka

Za sintetizovani spektar Severnog Polarnog Luka iskorišćeni su samo sledeći rezultati dati u tablici 19. Svi ostali, kako je to sledilo iz prethodne diskusije, nisu bili dovoljno pouzdani.

Grafički predstavljena zavisnost spektralnog indeksa Luka od učestanosti data je na slici 91. Rezultati iz tablice 19. se mogu uklopiti na jednu kosu pravu u granicama grešaka pojedinih vrednosti. To znači da je spektar Severnog Polarnog Luka zakrivljen i to tako da se srazmerno ravnomerno menja sa logaritmom učestanosti. Na većim učestanostima spektar je strmiji (β veće), a na nižim učestanostima blaži (β manje), ne dostižući ipak u posmatranom opsegu zavaljivanje spektra (promenu znaka β).

Samo ako bi β bilo konstantno, odnosno nezavisno od učestanosti, za spektar bi važio jednostavan stepeni zakon u

kome je eksponent konstanta

$$T \propto f^{-\beta}$$

$$\text{odnosno } S \propto f^{-\alpha}$$

gde je $\alpha = \beta - 2 = \text{const}$, jer je gustina fluksa S povezana sa temperaturom sjaja preko Relej-Džinsovog zakona, u oblasti nižih učestanosti.

Iskustvo pokazuje da u slučaju zakrivljenih spektara bar deo koji je zakrivljen može da se dosta dobro predstavi pomoću polinoma

$$\log S = a + b \log f + c \log^2 f$$

kao što je to napr. za Cas A i CygA učinio Bars sa saradnicima (Baars et al. 1977), podešavajući ovakav polinom drugog stepena merenim podacima metodom najmanjih kvadrata.

U slučaju Severnog Polarnog Luka pošto ne raspolazem apsolutnim merenjima temperature, odnosno gustine fluksa zračenja ne možemo odrediti veličinu a iz gornje jednačine, dok parametre b i c možemo.

Pošto je

$$d(\log S) = -\alpha d(\log f)$$

to će posle diferenciranja gornjeg polinoma po $\log f$ slediti da je

$$-\alpha = b + 2c \log f$$

To je jednačina prave u sistemu gde je α zavisno promenljiva, a $\log f$ nezavisno promenljiva, upravo kao što je to prava na grafiku sa slike 91.

Sa slike sledi da je

$$b = -0,13 \quad \text{i} \quad c = 0,145.$$

Prema tome, analitički izražen spektar Severnog Polarnog Luka glasi

$$\log S = a + 0,145 \log f - 0,13 \log^2 f.$$

Ovo je prvi ikada izvedeni izraz za spektar Severnog Polarnog Luka i predstavlja jedan od važnih rezultata ove teze.

Grafički predstavljen spektar Severnog Polarnog Luka koji sledi iz gornjeg izraza, dat je na slici 92. punom linijom.

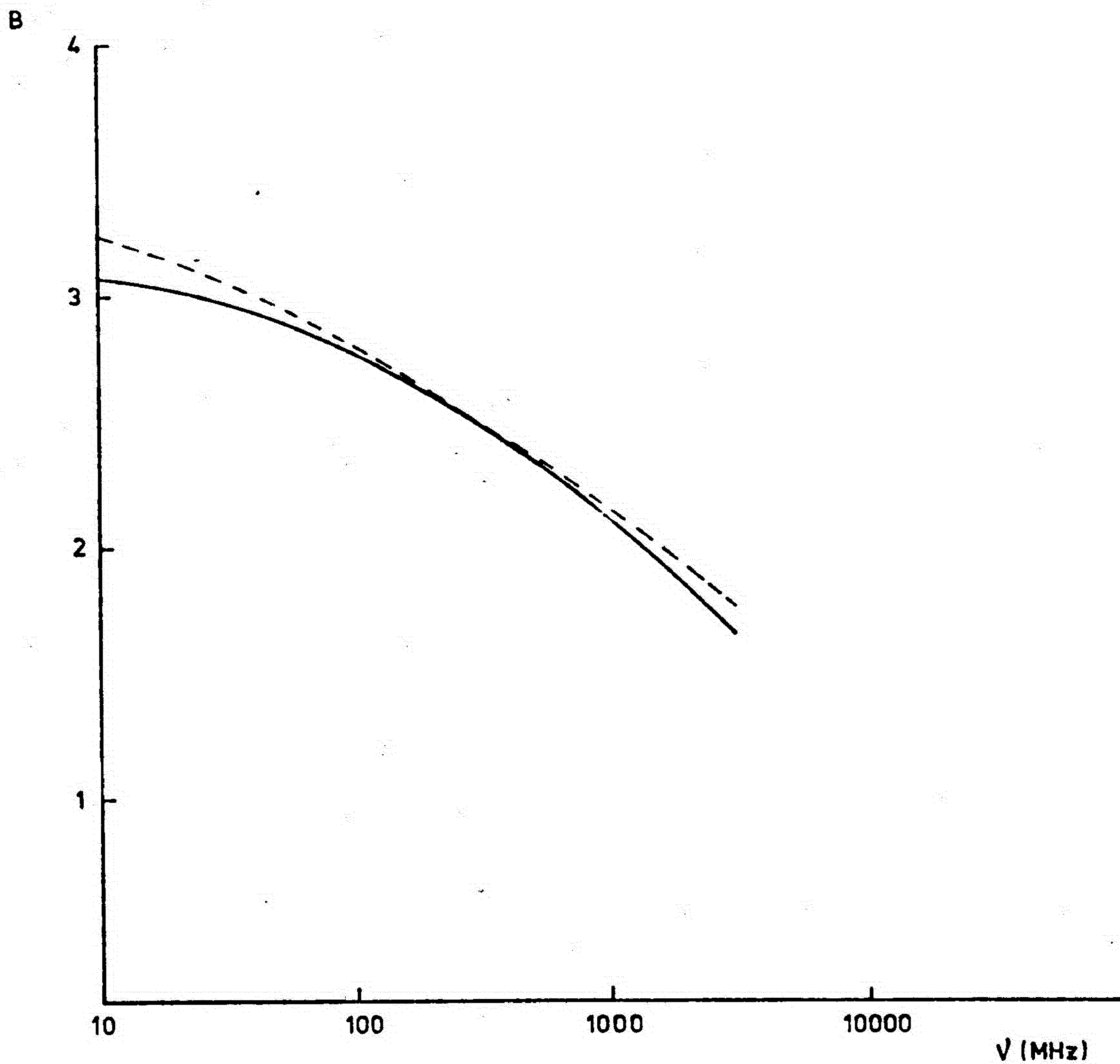
Novoizvedeni spektar, kako je to već naglašeno, nema maksimuma u posmatranom opsegu učestanosti.

Grafik na slici 92. se može shvatiti i kao posledica prelomljenog spektra gde deo na višim učestanostima ima spektralni indeks oko 2,75, a deo na nižim učestanostima oko 2,3, sa prelomnom tačkom blizu 150 MHz.

6.4.9. Astrofizičke implikacije izvedenog oblika spektra Severnog Polarnog Luka

Pre svega novoizvedeni spektar se razlikuje od spektra galaktičke pozadine koji je izveo Webster (Webster 1971), kao što se vidi sa slike 92. Razlika je takva da se ne može jedan spektar poklopiti sa drugim jednostavnim pomeranjem duž ose učestanosti.

Ako je zračenje Severnog Polarnog Luka sinhrotronskog porekla, kako se to najčešće smatra, onda iz ovakve nejednakosti ova dva spektra sledi da elektroni koji zrače u Luku ne mogu imati isti energetski spektar kao i oni koji proizvode



Slika 92. Relativni galaktički spektar i spektar Severnog Polarnog Luka.

Galaktički spektar je dat iscrtkanom linijom a spektar Severnog Polarnog Luka punom linijom.

galaktičko pozadinsko zračenje, pa ma kakve pretpostavke o odnosu intenziteta magnetnog polja usvojili. Ovaj zaključak je dao još Webster (Webster 1974) iz svog istraživanja spektra na učestanostima iznad 408 MHz i netačnog zaključka Holdenove (Holden 1967) o spektru Luka na niskim učestanostima. Ovog puta iz tačnijih podataka u celom opsegu 10 MHz - 1000 MHz, autor ove teze je mogao pouzdano da izvede zaključak o nejednakosti energetskih spektara.

Činjenica da se vrednosti spektralnog indeksa na niskim učestanostima i spektralnog indeksa na visokim učestanostima razlikuju za oko 0,5, navodi na misao da se i u slučaju Luka radi o tzv. izvoru sa stalnim ubacivanjem elektrona. Teorija (e.g. Kellerman 1974), naime, predviđa da će kod radioizvora, čiji su elektroni prvobitno imali energetski spektar konstantnog eksponenta, tokom vremena da opada broj elektrona sa višim energijama zbog energetskih gubitaka. Ako se pak neprekidno dodaju novi elektroni, onda će nastati na kraju ravnoteža, koja dovodi do stvaranja spektra gde je na učestanostima manjim od f_b spektralni indeks jednak početnom indeksu α_0 , dok će na višim učestanostima biti $\alpha = \alpha_0 - 1/2$. U slučaju Severnog Polarnog Luka ubacivanje novih elektrona može poticati od neprekidnog stvaranja, odnosno ubrzavanja elektrona u udarnom frontu ljuske gasa koja se širi posle eksplozije supernove, ukoliko je to proces koji je stvorio Severni Polarni Luk. S obzirom, da je još uvek u teoriji takvo stanje da ni jedna od iznetih hipoteza o poreklu Luka ne predviđa oblik radio-spektra ili bilo kog od njegovih delova, nije zasad moguće iskoristiti ovde izvedeni spektar.

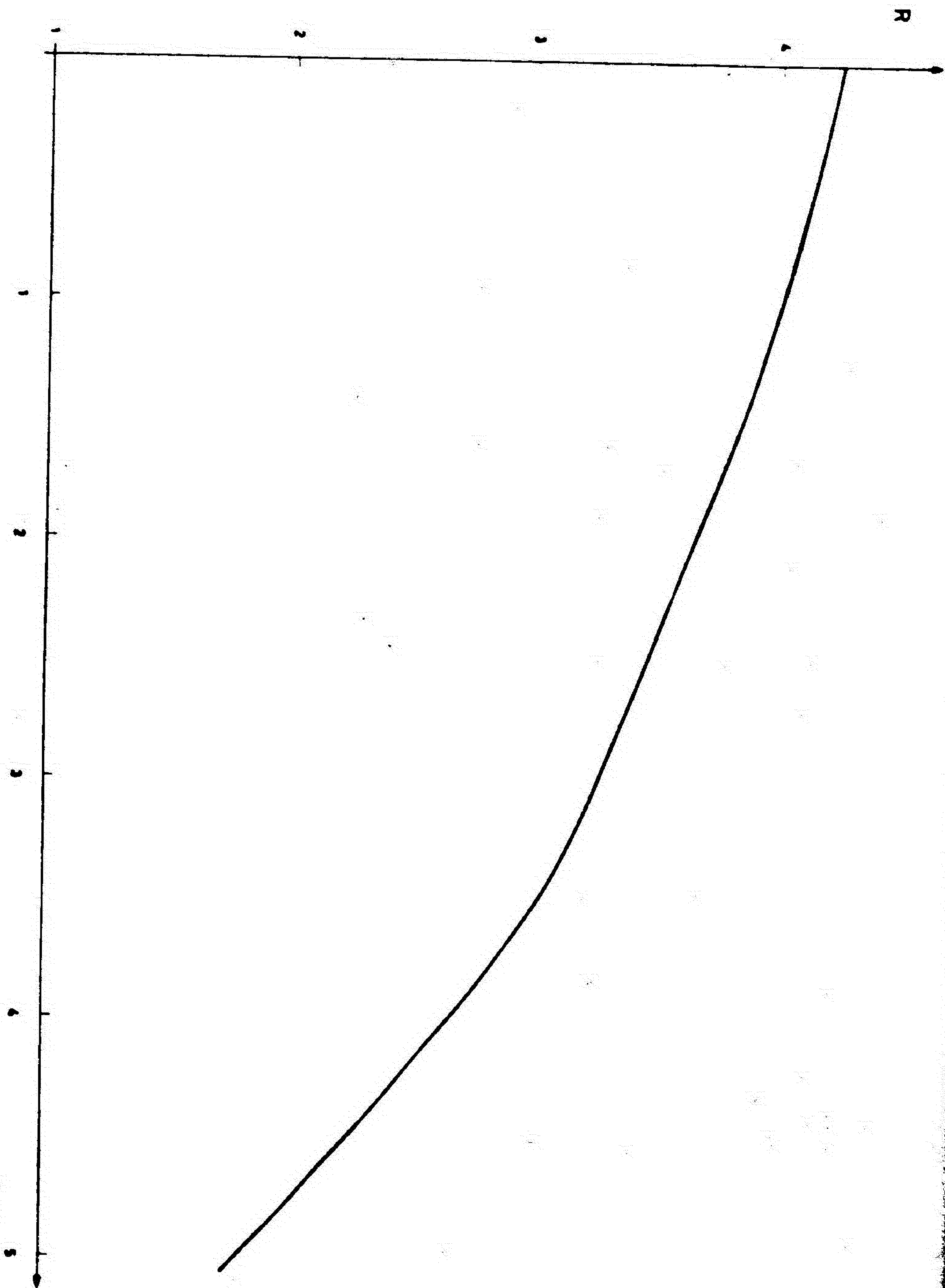
Autor ove teze je pokušala da bar neke hipoteze o

poreklu zračenja Luka proveri pomoću programa za računanje spektra radio-izvora, koji je za potrebe Kejmbridžske grupe napisao Šajer (Sheuer), a u čemu joj je pomagao i Vorner (Warner 1979).

Računati su sledeći slučajevi za Severni Polarni Luk, polazeći od toga da je njegov prvobitni spektralni indeks $\beta_0 = 2,225$ ($\gamma_0 = 1,450$), što odgovara najmanjoj eksperimentalno dobijenoj vrednosti β , i da je zračenje sinhrotronsko, osrednjeno po svim nagibima uglovima. Magnetno polje je bilo 10^{-9} T, ali ta činjenica nije bitna za ovo istraživanje, jer je ovde bitan bio oblik spektra, a on se može porediti klizanjem duž ose učestanosti (Baldwin 1962). Ti slučajevi su

- 1) elektroni datog eksponenta jednom ubačeni i kasnije samo gubili energiju;
- 2) elektroni stalno ubacivani tako da se uspostavila ravnoteža sa gubicima;
- 3) ubacivanje elektrona linearno smanjivano sa godinama;
- 4) elektroni počeli da se stvaraju pre 10^7 godina zbog zvezdanog vetra iz asocijacije Sco-Cen koje se ceni da je toliko staro (Abt 1979) i preko čega se superponirala eksplozija supernove pre 10^6 godina, koliko se ceni da je starost Severnog Polarnog Luka (Berkhuijsen et al. 1971). Ovakva kombinacija je uzeta da bi se testirala hipoteza Vivera (Weaver 1979). o kombinaciji ova dva efekta u stvaranju Severnog Polarnog Luka.

Nijedna od izračunatih krivih spektra nije se poklapala sa krivom izvedenom u ovoj tezi iz posmatranja. (naprimer sl.93.)



Slika 93. Oblik spektra zračenja elektrona koji su se pojavili kao izvori zračenja zbog zvezdanog vetra i moguće eksplozije supernove pre milion godina i koji su svoju energiju gubili uglavnom sinhrotronskim zračenjem (slučaj 4. na strani 391). Vetar je počeo pre 10^7 godina.

Nije se poklopio ni spektar galaktičke pozadine (Webster 1971) sa izračunatim spektrom za $\beta_0 = 2,38$, $\beta_0 = 2,45$ i $\beta_0 = 2,475$. Ove vrednosti su uzete iz rada Brajdla (Bridle 1967) za oblast I i II, na najnižim učestano- stima (13,15 MHz, 17,5 MHz i 81,5 MHz) koje je on merio.

S obzirom na greške merenja, bilo bi previše ne- kritički izvesti iz ovih neslaganja prestroge zaključke. Medjutim, moglo bi se reći da izgleda situacija sa Severnim Polarnim Lukom stoji složenije, no što bi se moglo prikazati ovim srazmerno jednostavnim modelima.

Čak ni razlika od 0,5 u spektralnim indeksima, koja odgovara slučaju stalnog ubacivanja elektrona, nije potvrđen preko izračunavanja oblika kompletnog sinhrotronskog spektra.

Ni slučaj zalomljenog spektra, koji se sastoji od dva pravolinijska spektra, ne daje realističke rezultate. Ako uzmemo da je spektralni indeks na niskim učestanostima 2,275, a na visokim 2,775, dobijamo da je prelom u spektru na učestanosti f_b . Njena vrednost se može dobiti iz relacija

$$T(f_1) = T(f_b) \left(\frac{f_b}{f_1}\right)^{2,275},$$

$$T(f_2) = T(f_b) \left(\frac{f_b}{f_2}\right)^{2,775}.$$

Stavljajući da je $f_1 = 38$, $f_2 = 408$, posle deobe gornjih jednačina i uvođenja posmatračkih vrednosti za indeks Luka između 38 MHz i 408 MHz dobijeno je za

$$f_b = 147 \text{ MHz}.$$

Greška procenjena iz mogućih vrednosti za spektralne indekse na nižim i višim učestanostima (2,25 sa 2,75 i 2,3 sa 2,8) iznosi oko $\begin{matrix} +45 \\ -35 \end{matrix}$ MHz.

Iz teorije sledi da učestanost preloma povezana sa magnetnim poljem iznosi

$$f_b \approx H^{-3} t^{-2} \text{ GHz}$$

gde je t izraženo u godinama. To je učestanost na kojoj sinhrotronski gubici postaju značajni (e.g. Kellerman 1974, Pacholczyk 1970).

Uzimajući da je starost objekta 2×10^6 godina (Berkhuijsen et al. 1971), dobija se iz gornje jednačine da je jačina normalne komponente H_1 oko 10^{-8} T (10^{-4} Gauss), što je oko 40 puta više no srednja vrednost magnetnog polja u medjuzvezdanom prostoru (e.g. Verschuur 1974).

Čistom kompresijom postignuto povećanje magnetnog polja neće dati potrebno povećanje emisivnosti koje bi bilo u skladu sa posmatranim intenzitetom zračenja.

Jednostavan račun izložen niže daje kvantitativnu procenu tog objekta.

Podjimo prvo od toga da izračunamo približno emisivnost Severnog Polarnog Luka na 38 MHz. Ako je Luk deo jedne sferne ljuske, onda je put zraka kroz ljusku u pravcu tangente na unutrašnju sferu gde preseca najdeblji deo ljuske

$$l = \sqrt{2r^2 + \Delta^2},$$

gde je r radius unutrašnje ljuske, a Δ r debljina ljuske koja je $\ll r$. Uzimajući odgovarajuće podatke iz rada Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1973) dobija se da je za Severni Polarni Luk

$$l = 73 \text{ pc.}$$

Uzimajući da je zračenje Severnog Polarnog Luka na 38 MHz u pravcu glavnog grebena $8,9 \times 10^3$ K, dobija se za emisivnost

$$J = 121 \text{ K pc}^{-1},$$

što je oko 40 puta više nego srednja vrednost emisivnosti izvedena u glavi 7. Hejlas sa saradnicima (Heiles et al. 1980) je dobio 20 puta veću emisivnost Luka, no normalnu medjuzvezdanu vrednost u galaktičkom disku za $b = 40^\circ$. Ovakvo slaganje izračunatih emisivnosti se može smatrati zadovoljavajućim.

Pretpostavimo da je povećanje emisivnosti došlo u osnovi zbog povećanja intenziteta magnetnog polja za faktor m . Pošto se relativističke čestice kreću po zavojnicama oko magnetnih linija sila, to će i njihova gustina da se poveća za faktor m . Zbog očuvanja adijabatske invarijante (Shklovsky 1970) H_\perp će se povećati za faktor \sqrt{m} . Otuda će se zapreminska emisivnost sinhrotronskog zračenja, koja je proporcionalna gustini relativističkih elektrona i $H_\perp^{(\gamma+1)/2}$ promeniti za faktor

$$S' = \frac{J'}{J} = m^{(3\gamma+7)/4}$$

Ako je $\gamma = 1,45$ ($\beta = 2,225$), to je povećanje emisivnosti srazmerno $m^{2,8}$.

Iz izvedenog faktora povećanja emisivnosti od 40 puta sledi da je na $m = 3,7$. Drugim rečima, svega četverostruko pojačanje magnetnog polja bi bilo dovoljno da stvori posmatranu emisivnost Luka. Povećanje polja za faktor 40 bi dalo emisivnost 3×40^4 puta veću, što ne odgovara podacima.

U ovom računu se nije ulazilo u uzroke pojačavanja magnetnog polja. Treba naglasiti da je to povećanje hipotetično jer je predložena i varijanta koju zastupa Hejlasova grupa (Heiles et al. 1980), po kojoj se skoro celo povećanje emisivnosti pripisuje povećanju broja relativističkih elektro-

Neposredna merenja magnetnog polja Severnog Polarnog Luka za sada su dala samo granice u kojima se kreće paralelna komponenta magnetnog polja. Hejlas i njegovi saradnici (Heiles et al. 1980) su izveli iz posmatranja da je paralelna komponenta u oblasti gde Luk mnogo zrači u radio-području oko $1,2 \times 10^{-10}$ T ($1,2 \mu\text{G}$), dok je u oblasti gde ima neutralnog vodonika povezanog sa Lukom, H_{\parallel} oko 6×10^{-10} T ($6 \mu\text{G}$). Nažalost merenja za sada ne daju pouzdanu vrednost H_{\perp} , pa se stoga ne zna ni ukupno magnetno polje Luka.

Jačina magnetnog polja u Cas A od $2,5 \times 10^{-8}$ T i u Tau A od $7,5 \times 10^{-8}$ T (e.g. Shklovsky 1970) su bliske ovde izvedenoj vrednosti za Severni Polarni Luk. Ovakva bliskost, međutim, pre može da posluži kao kontraargument nego kao argument u prilog jakog polja u Luku. Naime, i Cas A i Tau A su ostaci veoma mladih supernovih (mladih od 1000 godina), dok je u slučaju Luka starost procenjena na oko milion godina (Berkhuijsen et al. 1971). Teško je zamisliti da bi jačina magnetnog polja mogla tako malo da se promeni za tako dug vremenski interval.

Zanimljivo bi bilo dati odgovor i na pitanje zašto je spektar Severnog Polarnog Luka zakrivljen, i to više od spektra pozadine.

Zakrivljenost spektra radio-izvora na niskim učestanostima se dosada pokušavala tumačiti po pravilu sledećim uzrocima:

- a) zakrivljenošću energetskih spektra elektrona uslovljenom početnom raspodelom po energijama,
- b) apsorpcijom od strane jonizovanog vodonika,
- c) sinhrotronskom samoapsorpcijom,
- d) Citovičevim efektom,
- e) indukovanim Komptonovim rasejanjem.

Apsorpcija od strane medjuzvezdanog vodonika se smatra uzrokom zakrivljenosti galaktičkog pozadinskog zračenja na veoma niskim učestanostima, koja dovodi do zavaljivanja spektra za $f < 3$ MHz prema Aleksanderu i saradnicima (Alexander et al. 1970).

Sinhrotronska samoapsorpcija se smatra uzrokom zakrivljenosti ekstragalaktičkog pozadinskog zračenja na veoma niskim učestanostima (Simon 1977), koja dovodi do zavaljivanja spektra ispod $f < 3$ MHz.

U slučaju Severnog Polarnog Luka uslovi za sinhrotronsku samoapsorpciju su daleko od toga da budu ispunjeni. Temperatura sjaja Luka u radio-području je nekoliko redova veličine ispod ekvivalentne kinetičke energije relativističkih elektrona, što je lako pokazati.

S obzirom, da iz ove teze sledi, da je $10^{-10} T < H_L < 10^{-8} T$, to Larmorova učestanost f_L mora biti između 2,8 i 280 Hz. Pošto je, pak, temperatura sjaja T_b na učestanosti f_s na kojoj nastupa sinhrotronska samoapsorpcija

$$T_b = 2 \times 10^9 \sqrt{\frac{f_s}{f_L}}$$

to izlazi da bi na 10 MHz T_b morala biti između 4×10^{12} K

i 10^{11} K, da bi do pada u spektru došlo. Najveća temperatura u oblasti Luka, koju je Kasvel (Caswell 1977) na 10 MHz izmerio, iznosi 5×10^5 K. Ako procenimo da na sam Luk otpada polovina tog iznosa, to izlazi da je temperatura sjaja Luka na 10 MHz oko $2,5 \times 10^5$ K. Pošto ispitivanja iz ove teze i ispitivanja Bingama (Bingham 1966a) pokazuju da je intenzitet Luka na najsjajnijem delu približno dva puta veći, no u tački gde je Kasvel posmatrao, to ne možemo očekivati da će najsjajniji deo Luka biti mnogo sjajniji od 5×10^5 K. To je pak 10^5 do 10^7 puta manje no što je potrebno, da bi efekat samoapsorpcije nastupio. Ekstrapolacija do 1 MHz pokazuje da ni tamo taj efekat ne treba očekivati. Prema tome, sinhrotronska samoapsorpcija ne može biti uzročnik zakrivljenja spektra Luka na niskim učestanostima.

Ne treba očekivati ni da apsorpcija od strane međuzvezdanog vodonika igra znatnu ulogu u slučaju Luka. Optička dubina na 10 MHz pri temperaturi jonizovanog gasa od 10^4 K bila bi

$$\tau_{10} = 4 \times 10^{-3} n_e^2 L$$

Pošto apsorpcija nastupa za $\tau \gtrsim 1$, to znači, da bi trebalo da bude $EM = n_e^2 L \sim 250 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$. Kako do Luka ima oko 70 pc, to bi n_e trebalo da bude oko 2 cm^{-3} , što je previše s obzirom na danas poznate vrednosti. Ni neposredna optička merenja H_α (Sivan 1974) granične osetljivosti na emisiju meru od $30 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$ nisu pokazala značajno prisustvo jonizovanog vodonika u posmatranoj oblasti Severnog Polarnog Luka ($0^\circ < b < 25^\circ$). Najnovija namenska merenja H_α u oblasti Severnog Polarnog Luka (Heiles et al. 1980) daju meru emisije od svega $10 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$. O mogućnosti apsorpcije od strane međuzvezdanog

vodonika je već govoreno uz diskusiju rezultata Pertona (Purton 1966b) i Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1971).

Citovičev efekat, koji se očituje u veoma naglom smanjenju sinhrotronskog zračenja ispod Razinove učestanosti

$$f_R \text{ (Hz)} \sim 15 \times 10^{-4} \frac{n_e \text{ (cm}^{-3}\text{)}}{H_{\perp} \text{ (T)}}$$

izgleda da nije važan kod većine kosmičkih radio-izvora (Simon 1977, Bridle 1967 a). Da bi se osetio u radio-području potrebni su veoma slabo magnetno polje i velika gustina plazme.

Za procenu u slučaju Luka uzimamo 10^{-10} T H 10^{-8} T kako sledi iz prethodne analize i $n_e = 0,4 \text{ cm}^{-3}$ kako je to vidljivo iz rada Hejlasa sa saradnicima (Heiles et al. 1980). Za Razinovu učestanost se tada dobija $0,06 \text{ MHz} < f_R < 6 \text{ MHz}$, s tim što su manje vrednosti verovatnije. To je suviše nisko da bi se efekti zakrivljenja između 10 MHz i 100 MHz mogli pripisati zbirnom Citovičevom efektu za realan raspon vrednosti n_e i H_{\perp} .

Indukovano Komptonovo rasejanje takodje u slučaju Luka ne može biti važno u području radio-učestanosti. Koristeći isti izraz kao i Sajmonova (Simon 1977), autor ove teze je dobio da je temperatura sjaja i Luka i galaktičke pozadine za mnogo redova veličine premala da bi indukovano Komptonovo rasejanje igralo značajniju ulogu u radio-području. Čak i u slučaju kada gubici energije sinhrotronskim zračenjem iznose koliko i gubici na inverzno Komptonovo rasejanje, temperatura sjaja radio-izvora mora biti 10^{12} K (Kellerman 1974).

Na visokim učestanostima zakrivljenje se do sada

završilo:

- a) prvobitnim energetske spektrum elektrona,
- b) energetske gubicima.

U slučaju Severnog Polarnog Luka, iako je razlika spektralnog indeksa na visokim i spektralnog indeksa na niskim učestanostima $1/2$, izračunati spektar, kako smo već videli, ne potvrđuje jednostavan slučaj izvora sa stalnim ubacivanjem elektrona uz stalne energetske gubitke zračenjem.

Ne postoji ni mogućnost da pogrešno tumačimo koleno zakrivljenja kao koleno gde dolazi do prelaza sa α_0 na $\alpha_0 + 1/2$, a da ono eventualno bude na prelazu sa $\alpha_0 - 1/2$ na α_0 . Oblast u kojoj je $\alpha = \alpha_0 - 1/2$ je onagde preovlađuju gubici jonizacijom. To u slučaju Severnog Polarnog Luka za $f \gg 10$ MHz ne može biti, jer je na toj učestanosti energija relativističkog elektrona oko 2×10^{-10} J (2×10^{-3} erg), što pri proceni magnetnog polja kao i malopre, a gustini neutralnog vodonika mnogo manjoj od 2 cm^{-3} (Heiles et al. 1980), daje prema nomogramima iz knjige Paholjčika (Pacholczyk 1970), dominirajuće sinhrotronske gubitke. Tek da je $n_{\text{HI}} = 2 \text{ cm}^{-3}$, jonizacioni gubici bi bili najvažniji.

Izgleda, da je posle svega, jedini sada mogući zaključak da je spektar Severnog Polarnog Luka i na visokim i niskim učestanostima uslovljen prvobitnom raspodelom elektrona po energijama, koja je kasnije evoluirala na način koji još uvek nije jasan. Iako je ovakva hipoteza najlakša za postavljanje, ona je i najteža za dokazivanje i traži veliki istraživački rad koji prevazilazi obim ove teze.

Spektar Luka izveden u ovoj tezi ne može za sada da presudi o ispravnosti ni stanovišta Hejlasove grupe (Heiles et al. 1980). Autor ove teze smatra da je procena

komponente magnetnog polja u Luku paralelne sa vizurom, koju Hejlasova grupa izvela (Heiles et al. 1980), logički direktno izvedena. Njihov argument, da u šoku $B(tot)/n$ može rasti sa n , je u skladu sa stavom autora ove teze (u istom odeljku, jer potiče od istog teorijskog prilaza (npr. Shklovsky 1970). Medjutim, u onih nekoliko tačaka u kojima su oni merili, veoma je čak verovatno, da je polje upravno na pravac posmatranja. Komponenta magnetnog polja u radio-Luku upravna na vizuru mora biti jača od međuzvezdnog polja, jer merenja polarizacije u optičkom području (npr. Mathewson and Ford 1970, Axon and Ellis 1976), tako i radio-području (e.g. Spoelstra 1971, Berkhuijsen 1971, Bingham 1967), jasno pokazuju prisustvo Luka.

Autor ove teze podržava njihovu ideju o povećanim međuzvezdanim scintilacijama u pravcu Luka, jer je takve opisao u radu Šapirovske (Shapirovskaia 1978). Autor ove teze nije koristio mnoge rezultate merenja Hejlasove grupe. Sem toga, i rezultati ove teze pokazuju da su procesi vezani za tak složeniji no jednostavno jednokratno izbacivanje relativističkih elektrona prilikom eksplozije supernove i jednostavno ubacivanje dodatnih elektrona uz radijativne gubitke, što se može uklopiti u hipoteze Hejlasove grupe. Medjutim, dokazajući ove teze za sada ne mogu presuditi o realnosti ovog modela porekla Luka.

Preciznijim oblikom spektra galaktičke pozadine i Polarnog Polarnog Luka istraživanje kosmičkih zrakova treba da obija podlogu za dalji rad. Problemi oblika spektra rešeni još odavno (e.g. Smith 1961b) nisu teorijskim radovima (e.g. Kellerman 1974) još uvek u potpunosti rešeni.

GLAVA 7.

TOPLOTNA I NETOPLOTNA KOMPONENT
NA 38 MHz

7.1. RAZDVAJANJE TOPLOTNE I
NETOPLOTNE KOMPONENTE
ZRAČENJA NA 38 MHz U UNUTRAŠNJI
OBLASTIMA GALAKSIJE ($4^{\circ} \leq l < 65$)

7.1.1. Uvod

Odgovor na pitanje koliki je deo zračenja na datoj učestanosti toplotnog, a koliki netoplotnog porekla od samo početka je zanimao radio-astronome. U suštini tačan odgovor na to pitanje ni danas nije poznat jer je ukupno zračenje s kojim je teško pravilno razdvojiti. Smatra se da na visokim učestanostima preovladjuje toplotna komponenta dok na niskim učestanostima preteže netoplotna. Ima, međjutim, autora koji smatraju da čak i na 5 GHz doprinos termičkog zračenja čini mali deo. Nedavni pregled tog problema je dao Baldwin (Baldwin 1976).

S obzirom na to da problem još uvek stoji otvoren da pregled neba na 38 MHz koji su načinili Milogradov-Turin Smit (Milogradov-Turin and Smith 1973) i na 408 MHz (Haslam et al. 1974) koga je Haslam (Haslam 1975) podesno preradio, imaju istu razdvojnu moć i pouzdano određene nulte nivoe, vredelo je pokušati razdvajanje komponentata. Zadovoljavanje ova dva uslova je veoma značajno sa dobijanje korektnih rezultata kao što je to istakao Baldwin (Baldwin 1976).

Razdvajanje zračenja na 38 MHz u komponente izvršeno je za $4^\circ < l < 80^\circ$, $b = 0^\circ$ Vesterhautovom metodom (Westerhout 1958). Osnovna zamisao tog postupka se zasniva na činjenici da na niskim učestanostima primljeno zračenje veoma zavisi od prostornog rasporeda izvora toplotne i netoplotne prirode, dok na visokim učestanostima ta zavisnost veoma mala. Vesterhautov postupak predstavlja da su izvori ravnomerno izmešani u prostoru.

Sam Vesterhaut (Westerhout 1958) je primenio razdvajanje za učestanosti 85 MHz i 1390 MHz. On je dobio da je na 1390 MHz oko 50% zračenja toplotnog porekla. Slično je postupio i Lardž sa saradnicima (Large et al. 1962), koristeći podatke visoke razdvojne moći na 85 MHz, 408 MHz i 610 MHz, i Vilson (Wilson 1963) na 85 MHz i 960 MHz. Svi su oni obradjivali delo neba gde ili nema sjajnih izvora ili su oni mogli biti izuzeti. Kasnije su radio-astronomi koristili uglavnom merenja iznad 1 GHz jer se tu postiže veća tačnost i veća razdvojna moć. Tako su Džekson i Ker (Jackson and Kerr 1971) dobili da toplotna komponenta čini oko $50\% \pm 25\%$ ukupnog zračenja na 5 GHz, dok je Hirabajaši sa saradnicima (Hirabayashi et al. 1972) za 15 GHz dobio doprinos toplotne komponente od oko 80%.

Činjenica da je učestanost 38 MHz najniža u opsegu korišćenom za razdvajanje bila je posebno stimulatívna za rad na razdvajanju komponenti u ovoj tezi.

Mala razdvojna moć pregleda na 38 MHz i 408 MHz pri tome uslovljava veći oprez u interpretaciji rezultata i oceni njegove tačnosti. Pretpostavka o ravnomernoj prostornoj raspod izvora se može očekivati zadovoljenom unutar snopa od $7^\circ,7$, sem u oblasti neba gde se nalaze objekti velikih uglovnih

dimenzija i od znatnog uticaja. Pošto se oni zbog male razdvajne moći ne mogu izdvojiti, o njihovoj mogućoj prisutnosti se mora voditi računa.

7.1.2. Analiza

U slučaju ravnomerne izmešanosti izvora primljeno zračenje ima temperaturu po sjaju

$$T = \left(T_e + \frac{T_n}{\tau} \right) (1 - e^{-\tau}), \quad (7.1)$$

gde je τ optička dubina, T_e elektronska temperatura jonizovanog vodonika, a T_n je temperatura sjaja netoplotne komponente tj. temperatura sjaja u slučaju odsustva toplotne komponente.

Ovaj izraz je izveo Vesterhaut (Westerhout 1958) iz jednačine prenosa radio-zračenja u oblasti jonizovanog vodonika.

Opšte poznato je (e.g. Kraus 1966) da optička dubina i netoplotna komponenta zavise od učestanosti

$$\begin{aligned} \tau &\propto f^{-2,1}, \\ T_n &\propto f^{-\beta_n}, \end{aligned}$$

gde je β_n tzv. spektralni indeks temperature netoplotnog zračenja koji zavisi od pravca posmatranja. Većina merenja uključujući ona koja su izneta u ovoj tezi pokazuje da β_n leži između 2,5 i 2,7, što je osetno veće od indeksa optičke dubine.

Pošto zračenju pozadine sem galaktičkog zračenja doprinose i ekstragalaktičko zračenje i reliktno zračenje, potrebno je jednačini (7.1) dodati još dva člana T_{ex} i T_{re} . Na 38 MHz reliktno zračenje od 3 K je zanemarljivo malo, dok na 408 MHz predstavlja značajan član. Ekstragalaktičko zračenje koje potiče od integrisanog zračenja drugih galaksija na obe

pomenute učestanosti nije zanemarljivo.

Na učestanosti od 38 MHz optička dubina duž galaktičkog ekvatora u oblasti intenzivnog zračenja je reda veličine jedinice dok je na 408 MHz ona oko 150 puta manja tako da je $1 - \exp[-\tau(408)] = \tau(408)$.

Iz tih razloga jednačina (7.1) dopunjena za 38 MHz glasi:

$$T(38) = \left[T_e + \frac{T_n(38)}{\tau(38)} \right] \left[1 - e^{-\tau(38)} \right] + T_{ex}(38) e^{-\tau(38)}, (7.2)$$

dok je za 408 MHz

$$T(408) = T_e \tau(408) + T_n(408) + T_{ex}(408) + T_{re}.$$

Sem toga $T_n(408) = T_n(38) \left(\frac{408}{38}\right)^{-\beta_n}$

$$\tau(408) = \tau(38) \left(\frac{408}{38}\right)^{-2.1}$$

$$T_{ex}(408) = T_{ex}(38) \left(\frac{408}{38}\right)^{-\beta_{ex}}$$

$$T_{re} = 2.7 \text{ K}$$

Ako se usvoje razumne vrednosti za T_e , T_{ex} i β_n tada jednačine čine sistem jednačina sa samo dve nepoznate $T_n(38)$ i $\tau(38)$ za koje možemo očekivati rešenja bliska stvarnosti.

Pri razdvajanju obavljenom u ovoj tezi usvojene su sledeće vrednosti za ekstragalaktičku komponentu izvedene iz rezultata Brajdla (Bridle 1967)

$$T_{ex}(38) = 2000 \text{ K},$$

$$T_{ex}(408) = 3,1 \text{ K}.$$

Vrednosti za β_n su bile izabrane prema ekstremima spektralnog indeksa sa karte podnete u ovoj tezi. Vrednosti za β_n su bile očitane u oblastima gde je izgledalo da je doprinos toplotne komponente zanemarljiv.

Vrednosti za elektronsku temperaturu su izabrane u okviru raspona temperatura merenih u radio-području u oblasti jonizovanog vodonika (e.g. Osterbrock 1974) i to 4000 K i 8000 K.

Temperature po sjaju na 38 MHz i 408 MHz koje su zamenjivane u jednačine bile su pre toga obradjene tako da bi se dobili rezultati što približniji stvarnosti.

Postupak obrade je razradjen na sledeći način.

Prvo su preseki upravni na galaktički ekvator nacrtani na svakih 4° galaktičke latituda za $4^\circ \leq l \leq 80^\circ$, na obema učestanostima. Na mnogim longitudama profil severno od galaktičkog ekvatora je bio veoma opterećen Severnom Polarnom Petljom. U takvim slučajevima samo polovina profila sa strane negativnih latituda je uzimana u obzir. U svim ostalim slučajevima puna poluširina profila je merena.

Sledeći zaključci su mogli biti izvučeni:

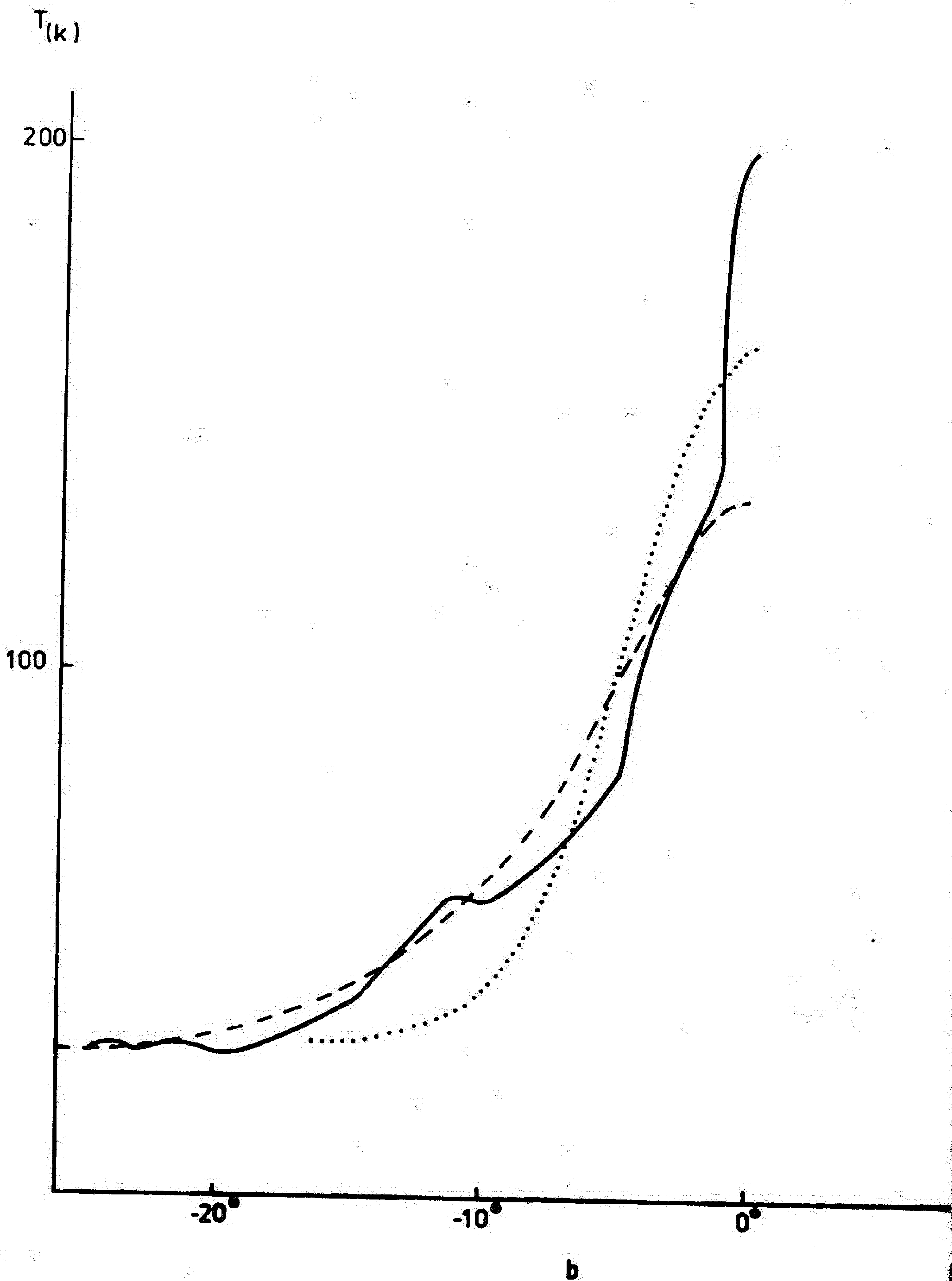
1. Za $|b| \leq \pm 30^\circ$ profili su mogli biti dobro predstavljeni Gausovim krivama sa srazmerno niskim pozadinskim zračenjem u osnovici, i to na obema učestanostima.
2. Širina na polovini amplitude temperaturskog profila je bila približno konstantna za sve longitude manje od 80° na 408 MHz i za $l < 50^\circ$ na 38 MHz. Ta širina, uključujući konvoluciju snopom antena je iznosila $\theta_{tot}(408) \sim 13^\circ$ za $l \leq 80^\circ$ dok je $\theta_{tot}(38) \sim 17^\circ$ za $l < 50^\circ$. U oblasti $50^\circ < l \leq 65^\circ$ širina Gausove krive na 38 MHz je iznosila oko 15° .

Okolina radio-izvora Cygnus X ($l = 80^\circ$) koja je obradjena na sličan način, opisana je podrobno u posebnom poglavlju. Ovde je od interesa navesti da je temperaturski profil za $l = 80^\circ$, pošto je ispravljen za doprinos radio-izvora Cygnus A, na 408 MHz Gausova kriva iste širine kao i za $l \approx 80^\circ$, dok je na 38 MHz profil zaravnjen na vrhu, a širok je na polovini amplitude čitavih 25° .

Veća širina profila na 38 MHz u odnosu na profil na 408 MHz navodi na misao da to može biti uzrokovano apsorpcijom koja smanjuje temperature na 38 MHz u uskoj oblasti galaktičkog diska, a što potvrđuje činjenica da su spektralni indeksi u tom delu niski, kao i činjenica da neobjavljena karta dela te oblasti načinjena u Kejmbridžu (Baldwin 1979) na 38 MHz, razdvojne moći ispod 1° , pokazuje apsorpciju u galaktičkoj ravni. Sužavanje profila za $50^\circ \leq l \leq 65^\circ$ odgovara smanjenoj apsorpciji uzrokovanoj činjenicom da vizirna linija prolazi van tangencijalne tačke susedne Strelčeve spiralne grane i to sa njene spoljne strane. U takvoj oblasti između spiralnih grana prirodno je očekivati malo međuzvezdanog vodonika (e.g. Kerr and Westerhout 1965, Lin et al. 1969, Lin 1970, Georgelin and Georgelin 1976), pa stoga i smanjenu apsorpciju.

Pošto za 408 MHz postoje merenja velike razdvojne moći $36' \times 36'$, uporedo sa temperaturama konvoluiranim na razdvojnu moć od $7^\circ,25 \times 8^\circ,25$, moguće je proučiti promenu izgleda profila sa razdvojnomoći. To je učinjeno na profilu za $l = 45^\circ$ koji je dat na slici 94. Punom linijom je dat profil temperature velike razdvojne moći, iscrtkana linija daje konvoluiranu krivu, dok je tačkastom krivom označena tzv. dekonvoluirana kriva. Proces dekonvolucije je izveden na sledeći način. Na slici je padalo u oči da se profil visoke

408 MHz
 $l = 45^\circ$



Slika 94. Presek kroz galaktičku ravan antenskim snopovima raznih razdvojnih moći. Punom linijom je dat profil razdvojne moći $36' \times 36'$, iscrtanom $7,25' \times 8,25'$ a tačkastom dekonvoluirani profil.

razdvojne moći sastoji od bar dveju komponenti: veoma uske, čija je širina na polovini njene amplitude svega oko 2° , i šire komponente, širine oko 10° . Postoji mogućnost prisustva i treće komponente širine oko 20° , ali njeno postojanje nije izvesno. Očevidno, najuža komponenta potiče iz udaljenih oblasti dok je šira poreklom iz bližih delova Galaksije.

Iako teorijski nije moguće rekonstruisati potpuno raspodelu temperatura, moguće je doći do prve aproksimacije temperature ako se prepostavi da antenski snop i profil galaktičkog zračenja imaju oblik Gausove krive. Ovde će se kao podesan naziv za takav profil koristiti reč ekvivalentan Gausovski profil. Njegova širina na polovini amplitude je

$$\theta = \sqrt{\theta_p^2 - \theta_b^2} \quad ,$$

gde je θ_p širina galaktičkog profila posmatranog antenom male razdvojne moći, dok je θ_b širina glavnog snopa te antene na polovini snage.

Restaurirana ukupna temperatura u datom pravcu će biti

$$T_{RT} = (T_A - T_B) \frac{\theta_p}{\sqrt{\theta_p^2 - \theta_b^2}} + T_B \quad .$$

gde je T_B temperatura pozadine, a T_A maksimalna temperatura profila.

Stepen restauracije i njene bliskosti realnoj temperaturi može se videti sa slike 94, gde tačkasta linija predstavlja ekvivalentni Gausov profil, odnosno dekonvoluirani profil. Dati profil ima istu gustinu fluksa zračenja kao i stvarna Galaksija, ali će zbog složenog oblika realnog profila imati nešto nižu amplitudu što zavisi od složenosti gradje profila. Podrobno poredjenje sa profilom visoke razdvojne moći pokazuje da ekvivalentni profil ima amplitudu oko 20% nižu

u proseku od profila visoke razdvojne moći od $36' \times 36'$.

U delu bliskom centru Galaksije, tj. za $l < 35^\circ$, ekvivalentni maksimum je čak 40% niži, dok je za $l \approx 60^\circ$ bliži stvarnoj vrednosti. To se i moglo očekivati jer za $l < 35^\circ$ uska komponenta iz udaljenih oblasti ima znatan uticaj, pa je stoga aproksimacija Gausovom krivom manje uspešna. Poredjenje sa pregledom neba na 400 MHz Sigera i dr. (Seeger et al. 1965) pokazuje da su temperature, koje su oni izmerili, bliske vrednostima ekvivalentnih Gausovih profila. Odatle se može zaključiti da će za $b = 0^\circ$ ekvivalentan Gausov presek biti veoma sličan vrednostima dobijenim pomoću antene širine snopa od oko 2° .

Vrednosti dobijene za amplitudu ekvivalentnog Gausovog profila na 38 MHz i 408 MHz bile su upotrebljene pri rešavanju sistema jednačina za razdvajanje toplotne i netoplotne komponente.

Sistem jednačina je bio rešavan za svakih 4° duž galaktičkog ekvatora grafičkim putem.

Jednačine uniformno izmešane sredine bile su rešene u sledećim slučajevima:

$$T_e = 8000 \text{ K}, \quad \beta_n = 2,5,$$

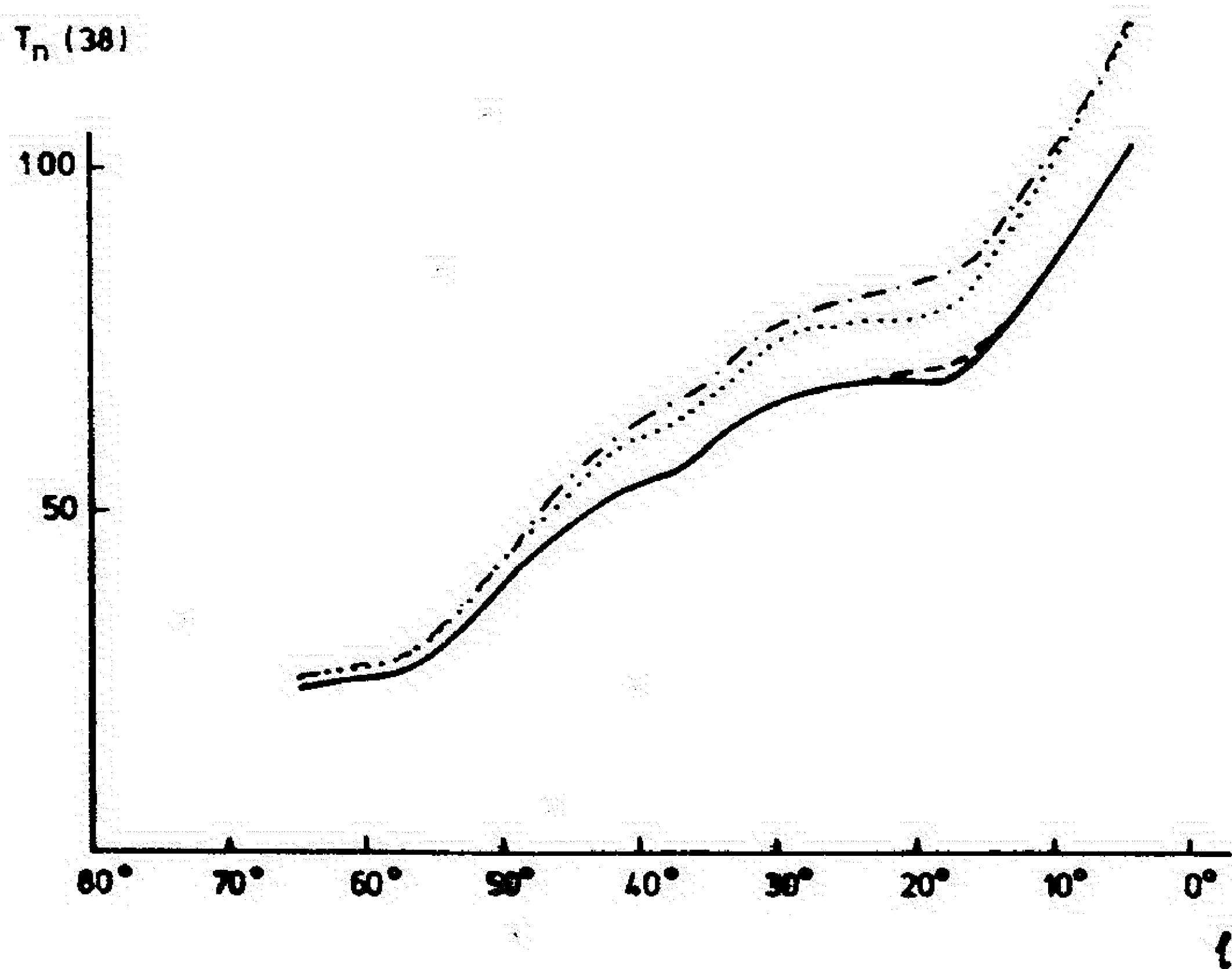
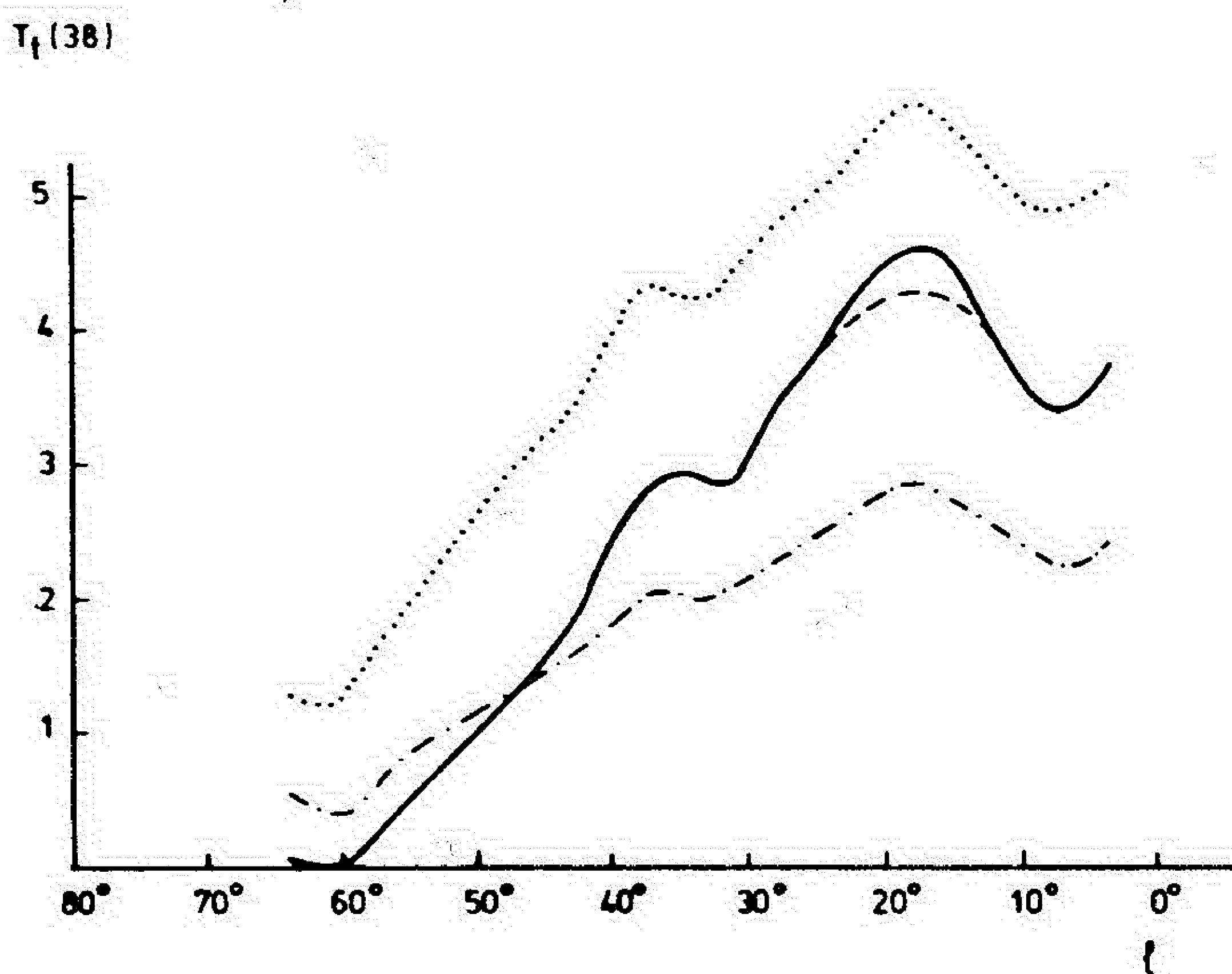
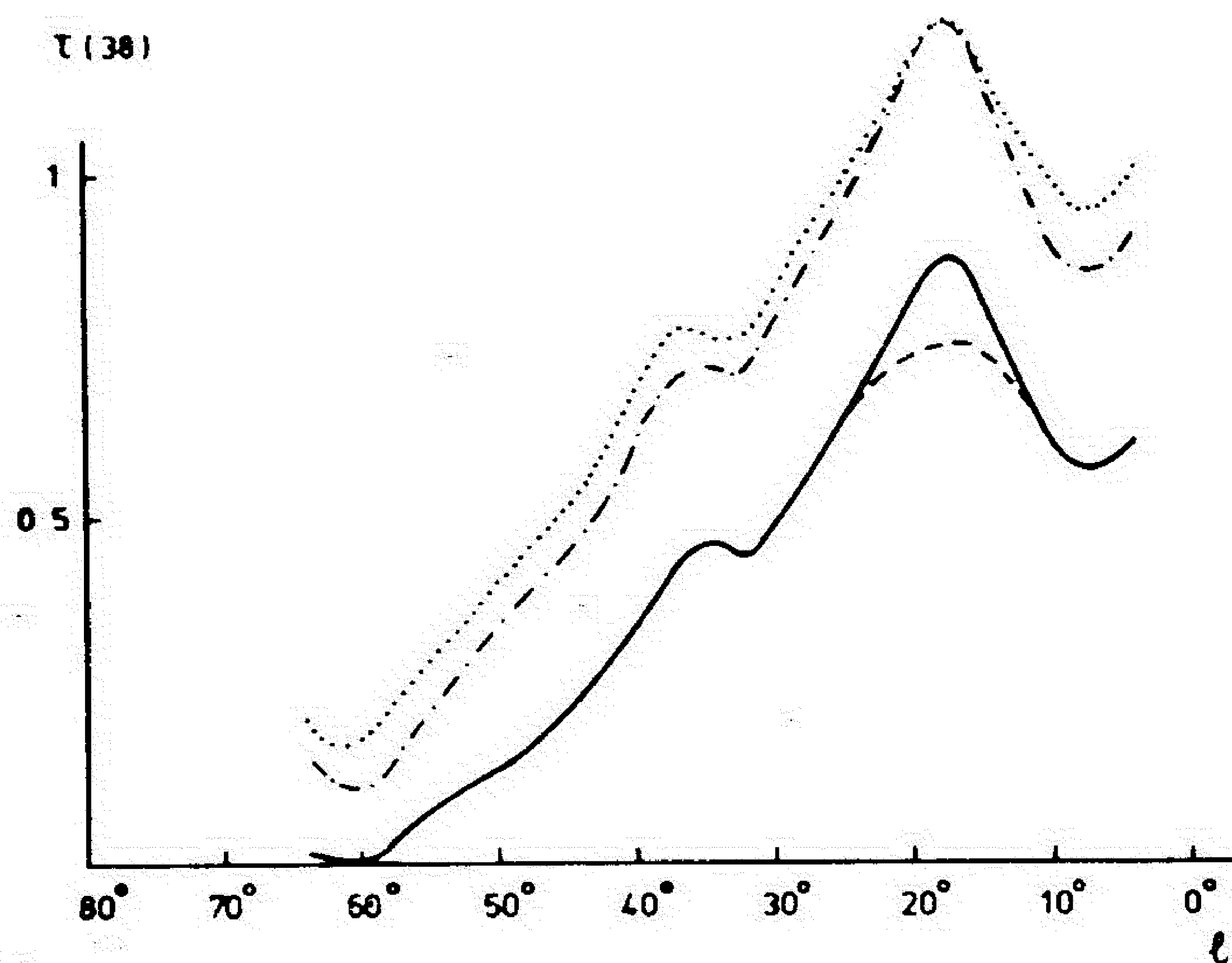
$$T_e = 8000 \text{ K}, \quad \beta_n = 2,6,$$

$$T_e = 4000 \text{ K}, \quad \beta_n = 2,55.$$

Krive na slici 95 predstavljaju raspodelu toplotne komponente T_t , netoplotne komponente T_n i optičke dubine τ sa galaktičkom longitudom.

Toplotna komponenta je definisana kao i kod Vesterhauta (Westervout 1958) preko jednačine

$$T_t = T_e (1 - e^{-\tau})$$



Slika 95. Raspodela optičke dubine, toplotne i netoplotne komponente na 38 MHz duž galaktičkog ekvatora. Temperature sjaja su date u jedinicama od 1000 K. Punom linijom je dato rešenje za $\beta_n=2,5$, $T_e=8000$ K, tačkastom za $\beta_n=2,6$, $T_e=8000$ K a isprekidano-tačkastom za $\beta_n=2,55$, $T_e=4000$ K. Isprekidanom linijom oko $l=20^\circ$ je dato rešenje dobijeno za $T(38) + 3000$ K.

Tako definisana toplotna komponenta predstavlja temperaturu neba po sjaju u slučaju da netoplotna komponenta nije prisutna.

Punom linijom na slici 95 predstavljeno je rešenje za prvi slučaj parametara T_e i β_n , tačkastom linijom rešenje za drugi slučaj parametara, a iscrtano tačkastom linijom rešenje za treći slučaj parametara. Temperature nanete na koordinatama izražene su u hiljadama stepeni Kelvina.

Sem navedenih izračunata su i rešenja za $\beta_n = 2,4$, $T = 6000$ K i $T_e = 8000$ K i $\beta_n = 2,35$, $T_e = 8000$ K u oblasti $4^\circ < l < 40^\circ$, $b = 0^\circ$. Smanjenje spektralnog indeksa na $l = 18^\circ$ dovodi do smanjenja optičke dubine na $\tau \lesssim 0,5$. T_n je na $l = 18^\circ$ oko 10^4 K niža za $\beta_n = 2,4$, $T_e = 8000$ K nego za $\beta_n = 2,5$, $T_e = 8000$ K. Maksimum na $l = 18^\circ$ je u slučajevima niskih spektralnih indeksa netermičke komponente mnogo izraženiji nego za više spektralne indekse.

Maksimum ekvivaletnih profila koji su korišćeni za rešavanje sistema jednačina su u suštini antenske temperature sistema srazmernih antena. Temperature po sjaju će se dobiti kada se obračuna udeo koji stiže kroz bočne snopove, oduzme od antenske temperature i tako dobijena temperatura glavnog snopa pretvori u temperaturu po sjaju. Ekstremna normalizacija na temperaturu po sjaju bi bila postignuta za dati teleskop deljenjem maksimuma ekvivalentnih profila sa 0,85. Oblik krivih T_n (38) i τ (38) kao funkcija od l se time ne menja, dok se T_n time povećava za oko 20%, a τ za oko 6%. Ovako normalizovane vrednosti su korišćene za izračunavanje emisivnosti i gustine elektrona.

Na slici 95, date su prvobitne vrednosti bez normalizacije.

1.3. Diskusija

Prvi važan zaključak koji se iz ovog razdvajanja može izvući jeste da je netoplotna komponenta na 38 MHz otprilike desetina puta intenzivnija no toplotna komponenta na 38 MHz. Odnos netoplotne i toplotne komponente je najmanji za galaktičke longitude oko 18° gde iznosi oko 15, a najveći je za 60° gde obe komponente imaju najmanju vrednost, pri čemu toplotna komponenta praktično nestaje.

Već prvi pogled na sliku 95. pokazuje da iako rešenja za sva tri slučaja parametara nisu identična ona pokazuju u osnovi isti oblik zavisnosti od galaktičke longitude. Sve tri veličine T_n , τ i T_t pokazuju osobeno ponašanje oko $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$.

Toplotna komponenta T_t opada sa rastućom longitudom, osim uvek oko $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$ gde prolazi kroz lokalne maksimume, od kojih je onaj na $l = 18^\circ$ veoma izrazit.

Ponašanje slično toplotnoj komponenti pokazuje i optička dubina τ .

Netoplotna komponenta zračenja opada sa rastućom longitudom sa zastojećima u opadanju oko $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$.

Netoplotna komponenta pokazuje gladak stepenik u blizini tangencijalnog pravca na Strelčev krak ($l = 43^\circ$) i jasnije jasan stepenik ($l = 30^\circ$) u pravcu tangencijalnom na krak Štita. Pravac $l = 60^\circ$ odgovara oblasti između Strelčevog kraka i ogranka u Labudu. Slaba toplotna komponenta u pravcu $l = 60^\circ$ ukazuje na to da odgovarajući deo Persejevog kraka sadrži veoma malo jonizovanog vodonika. Ovaj rezultat je u skladu sa radom Žorželinovih (Georgelin and Georgelin 1976) koji nisu našli H II oblasti visokog eksitacionog.

parametra u pravcima bliskim $l = 60^\circ$. Netoplotna komponenta u pravcu $l = 60^\circ$ iznosi oko $2,5 \times 10^4$ K. Trebalo bi da potiče ili od Persejeve grane, ili delom od te grane, a delom od hipotetičnog osnovnog diska za koga ima razloga da se veruje da bi mogao biti prisutan (e.g. Van der Kruit and Allen 1976). Najveći deo i toplotne i netoplotne komponente leži unutar granice koju čini Strelčev krak kako se jasno vidi sa slike

Poredjenje krivih sa slike 95 sa odgovarajućim raspodelama koje su iz podataka oslobodjenih uticaja sjajnih pojedinačnih izvora izveli Vesterhaut (Westerhout 1958) na 1390 MHz i Lardž sa saradnicima (Large et al. 1961) na 408 MHz, pokazuje da samo toplotna komponenta ovde izvedena ima maksimume na $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$. Zaključak koji iz toga sledi jeste da su ti maksimumi posledica prisustva radio-izvora koji nisu mogli biti uklonjeni iz podataka male razdvojne moći na 38 MHz i 408 MHz.

Poredjenje sa longitudinalnim raspodelama galaktičkih indikatora prema Bertonu i Gordonu (Burton and Gordon 1978), potvrđuje da maksimumi na $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$ ne potiču od galaktičke strukture većih razmera.

Ovi maksimumi formalno nastaju zbog primene Vesterhautovog postupka na podatke na 38 MHz koji pokazuju minimum na $l = 18^\circ$ i promenu gradijenta na $l = 37^\circ$, dok korišćeni podaci na 408 MHz takve osobine nemaju. Znajući da prostorni raspored igra važnu ulogu na niskim učestanostima, a malu na visokim učestanostima, može se zaključiti da maksimumi na $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$ potiču od H II oblasti srazmerno velikih ugaonih razmera koje se nalaze blizu nas i koje deluju kao zakloni za netoplotno zračenje, a izvori toplotnog zračenja.

Kako je pokazano u glavi 4. (Milogradov-Turin 1981)

S 54, S 49 i S 45 koji su svega 2 kpc daleko od nas izazivaju znatno smanjenje sjaja na 38 MHz i mogu biti baš ti izvori koji uzrokuju izgled krivih sa slike 95. na $l = 18^\circ$. To što 3000 K nije dovoljno da otkloni maksimum na $l = 18^\circ$ treba shvatiti kao nesigurnost u vrednosti redukcije i u samoj metodi.

Kao što se može videti na neobjavljenjnoj karti visoke razdvojne moći na 38 MHz (Baldwin 1979), u oblasti oko $l = 37^\circ$ nalaze se sjajan netoplotni izvor 3C 392 i nekoliko apsorpcijskih oblasti manje dubokih no što je S 54 kompleks. Ovakav skup može da bude razlog postojanja maksimuma na $l = 37^\circ$ manjeg po amplitudi no onaj na $l = 18^\circ$.

7.1.4. Netoplotna emisivnost

Netoplotna emisivnost je važan parametar koji se može pokušati izvesti iz netoplotne komponente. Pošto je za njegovo izvodjenje potrebno poznavanje dužine stuba materijala koji zrači, pretpostavke o gradnji Galaksije moraju biti uvučene u određivanje emisivnosti. S obzirom da još uvek nije potpuno jasno koliki udeo netoplotnog zračenja naše Galaksije otpada na osnovni disk, a koliki na spiralne grane (e.g. Van der Kruit and Allen 1976, Price 1974, Baldwin 1976, Higdon 1979) emisivnost je danas nemoguće tačno odrediti, već je moguće jedino proceniti.

Netoplotna emisivnost na 38 MHz je u ovom radu izvedena iz netoplotne komponente za slučaj $T_e = 8000$ K i $\beta_n = 2,5$, smatrajući da su izvori zračenja ravnomerno raspodeljeni unutar poluprečnika od 15 kpc oko centra Galaksije.

Netoplotna komponenta je uvećana za 20% radi normalizacije antenske temperature na temperaturu sjaja. Rezultat je dat na slici 96. u vidu krive. Tačke na slici 96. su vrednosti koje su dobili ostali autori (Purton 1966 b, Baldwin 1967, Bridle 1968, Holden 1968, Andrew 1969, Roper 1969, Parrish 1972, Jones and Finlay 1974, Caswell 1976, Krymkin 1978), a posle svođenja na 38 MHz. Emisivnosti dobijene kao opšte vrednosti (Mills 1959, Shain 1959, Alexander et al. 1970), ili za Sunčevu okolinu (Wilson 1965), ili u pravcu galaktičkih polova (Cane 1979) su predstavljene crtama duž celog opsega longituda. Vrednosti emisivnosti koje je izveo Brajdl (Bridle 1968) su bile uzete u svim modifikacijama koje je sugerirao autor. Svođenje na 38 MHz je izvršeno sa dve vrednosti spektralnih indeksa $\beta = 2,4$ (Sironi 1974) i $\beta = 2,7$ (Jones and Finlay 1974), sem u slučaju Greema i dr. (Graham et al. 1981) gde su rezultati dati onako kako su ih dali sami autori. Svi ti rezultati su uneti u grafikon na slici 96. da bi se jasnije videli odnosi među raznim rezultatima, raznim autorima i raznim pravcima.

Kao što se vidi sa slike 96. emisivnost izračunata u ovoj tezi je srazmerno monotona funkcija longitude. Promene gradijenta na $l = 18^\circ$ i $l = 37^\circ$ su posledica ponašanja netermičke emisivnosti koje je bilo podrobno diskutovano u prethodnom pododeljku.

Netoplotna emisivnost je najveća u pravcima bliskim središtu Galaksije, a opada sa porastom longitude unutar posmatranog opsega. Takvo ponašanje se ne može jasno izvesti iz posmatranja drugih autora jer je tačnost poznavanja emisivnosti suviše mala.

Emisivnosti izvedene u istim pravcima ali od strane raznih autora mogu da se razlikuju za faktor 2, pa čak i 3 u zavisnosti od merenja i analize. Emisivnost može čak da se

veoma razlikuje unutar srazmerno malog ugla na nebu pri istim uslovima merenja i obrade kao što su to pokazali Džons i Finli (Jones and Finlay 1974).

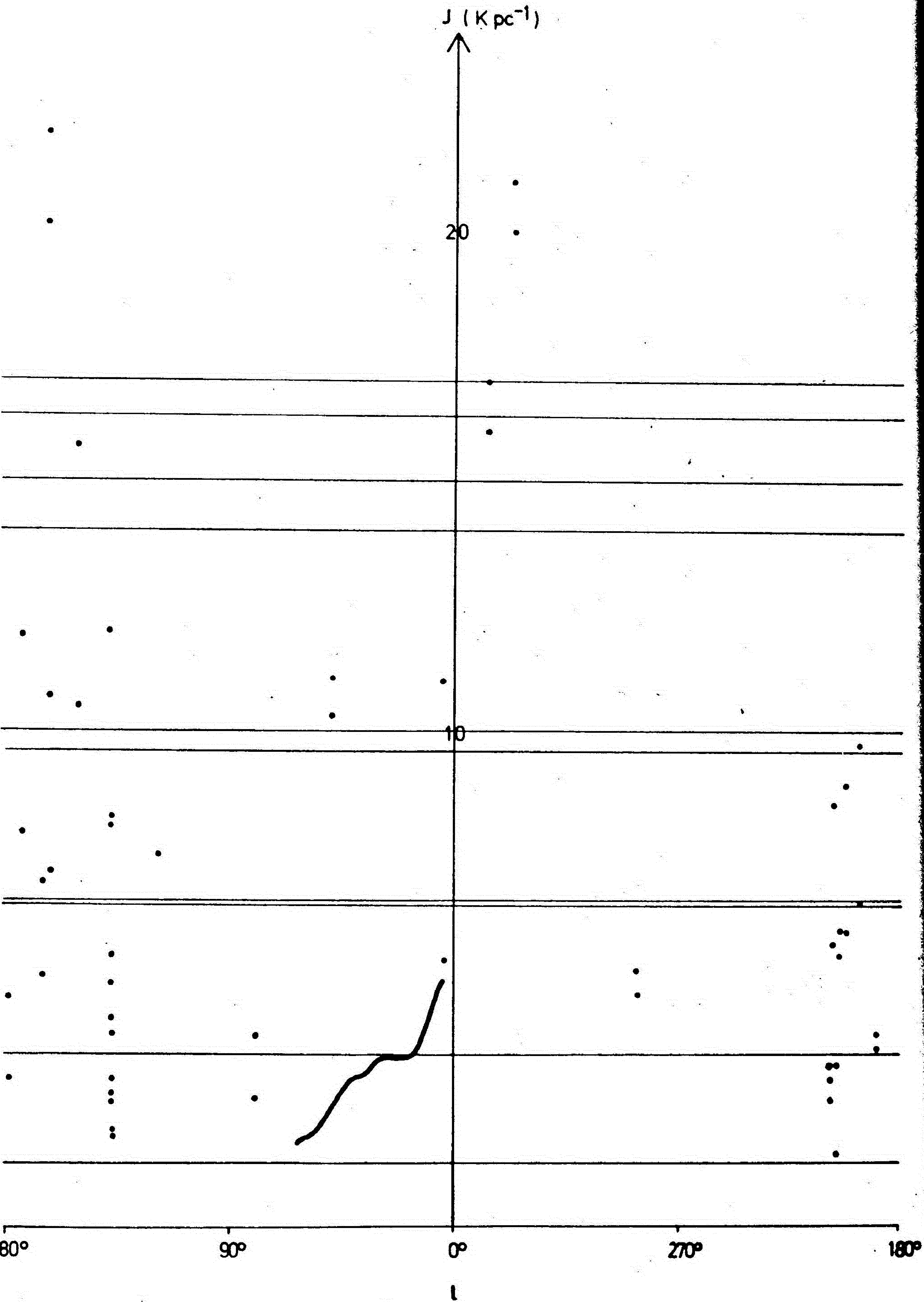
Vrednost emisivnosti izvedene u ovoj tezi se nalaze unutar skupa nižih vrednosti emisivnosti prikazanih na slici 96. To nije iznenadjujuće jer je ekvivalentni gausovski profil davao vrednosti niže od temperatura na pregledu visoke razdvojne moći. Poredjenje ovog pregleda neba sa pregledom visoke razdvojne moći na 38 MHz Kenderdajna (Kenderdine 1963), u zajedničkoj oblasti galaktičke ravni, blizu $\alpha = 19^h$, pokazuje da su na Kenderdajnovom pregledu temperature oko 1,4 puta više. Medjutim, skala osetljivosti njegovog pregleda bi prema nedavnim apsolutnim merenjima kalibracionih izvora (Baars et al. 1977) trebalo povećati bar za faktor 1,2. Iako je očividno da su ovde izvedene vrednosti premale bar za faktor 1,7, takva popravka nije primenjena jer je taj faktor neizvestan zbog tzv. osnovnog nivoa Kenderdajnovog pregleda.

U svakom slučaju ovde izvedeni rezultati su interesantni kao nova procena i indikator relativnih odnosa.

7.1.5. Mera emisije i gustina elektrona

Kriva koja predstavlja zavisnost optičke dubine od longitude ima isti oblik kao i kriva koja predstavlja meru emisije kao funkciju longitude. Da bi se dobila mera emisije u uobičajenim jedinicama $\text{cm}^{-6} \text{ pc}$, faktor $0,013 T_e^{1,35}$ treba primeniti na optičku dubinu na slici 95 .

Smatrajući da je sav jonizovani vodonik skoncentrisan u spiralnim granama koje su oko 0.5 kpc široke, a rasporedene prema Žorželinovima (Georgelin and Georgelin 1976), dobijena



Slika 96. Raspodela izračunate netoplotne emisivnosti na 38 MHz s
longitudom.

je srednja vrednost od $n_e = 0,4$ elektrona po cm^3 , za slučaj $T_e = 3000 \text{ K}$ i $\beta_n = 2,5$, i $40^\circ < l < 55^\circ$.

Ova oblast longituda je izabrana zato što tu nema izrazitih apsorpcionih oblasti i zato što je struktura Galaksije u tim pravcima jednostavna i dobro poznata. Dobijena vrednost $n_e = 0,4 \text{ cm}^{-3}$ je u skladu sa onim što se moglo očekivati prema radovima drugih autora (e.g. Osterbrock 1974, Spitzer 1978).

7.2. C Y G X N A 38 MHz

7.2.1. Uvod

Jedan od najupadljivijih galaktičkih izvora na visokim učestanostima je tzv. kompleks Cyg X (Labud X). To je oblast na nebu u kojoj se nalazi veliki broj fizički i projektivno bliskih radio-izvora, grupisanih oko $l = 80^\circ$, $b = 2^\circ$. Taj kompleks je bio veoma mnogo istraživani na visokim učestanostima, naročito od strane Vendkera i njegovih saradnika (e.g. Wendker 1970, Baars et al. 1978, Dickel et al. 1970, Mathewson et al. 1960 i reference u njima). Radio-zračenje Cyg X na visokim učestanostima potiče od više nego 80 pojedinačnih radio-izvora i nerazdvojenog pozadinskog zračenja (Wendker 1970, Baars et al. 1978).

Cyg X je veoma malo istraživani na niskim učestanostima uglavnom zbog posmatračkih teškoća koje se javljaju pri posmatranju sintetičkim radio-teleskopom u blizini znatno jačeg izvora Cyg A. Neobjavljeni pregled visoke razdvojne moći na 10 MHz (Purton 1966 b) obuhvata oblast Cyg X, ali nije niti tako tačan niti tako detaljan kao pregledi na

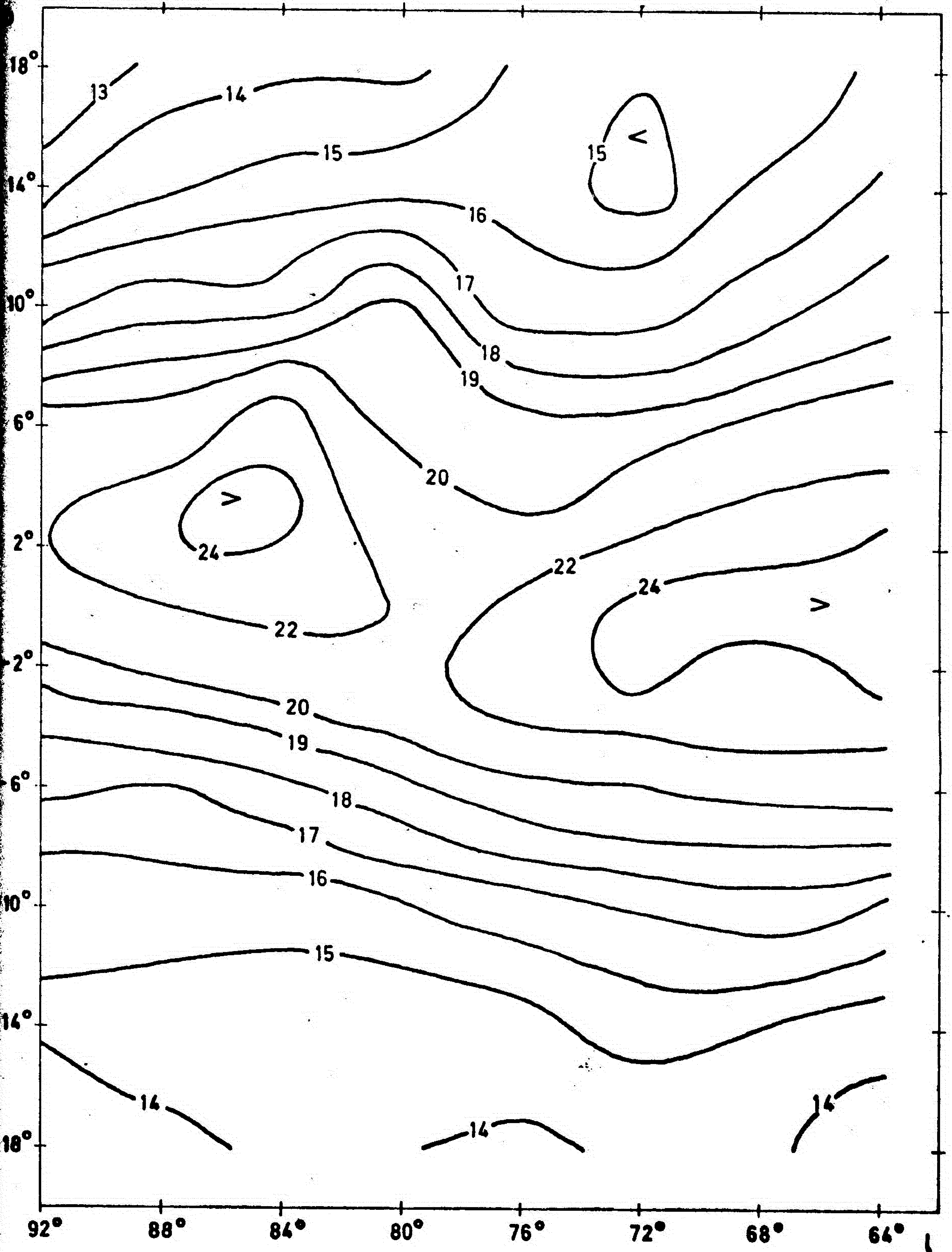
visokim učestanostima. Sem toga on je veoma opterećen uticajem Cyg A.

Pregled na 38 MHz, koji je dat u ovoj tezi (Milogradov-Turin and Smith 1973), iako nema veliku razdvojnu moć, zanimljiv je za izučavanje Cyg X, jer je učestanost niska a korišćeni antenski sistem - paraboloid dozvoljava srazmerno tačno obračunavanje uticaja Cyg A. Na karti (sl.23 i 35) Cyg X se na prvi pogled ne zapaža jer Cyg A dominira izgledom tog dela neba. Prisustvo Cyg X je upadljivo, međjutim, na karti spektralnih indeksa između 38 MHz i 404 MHz (Milogradov-Turin 1974), koja je data na slici 66. u ovoj tezi.

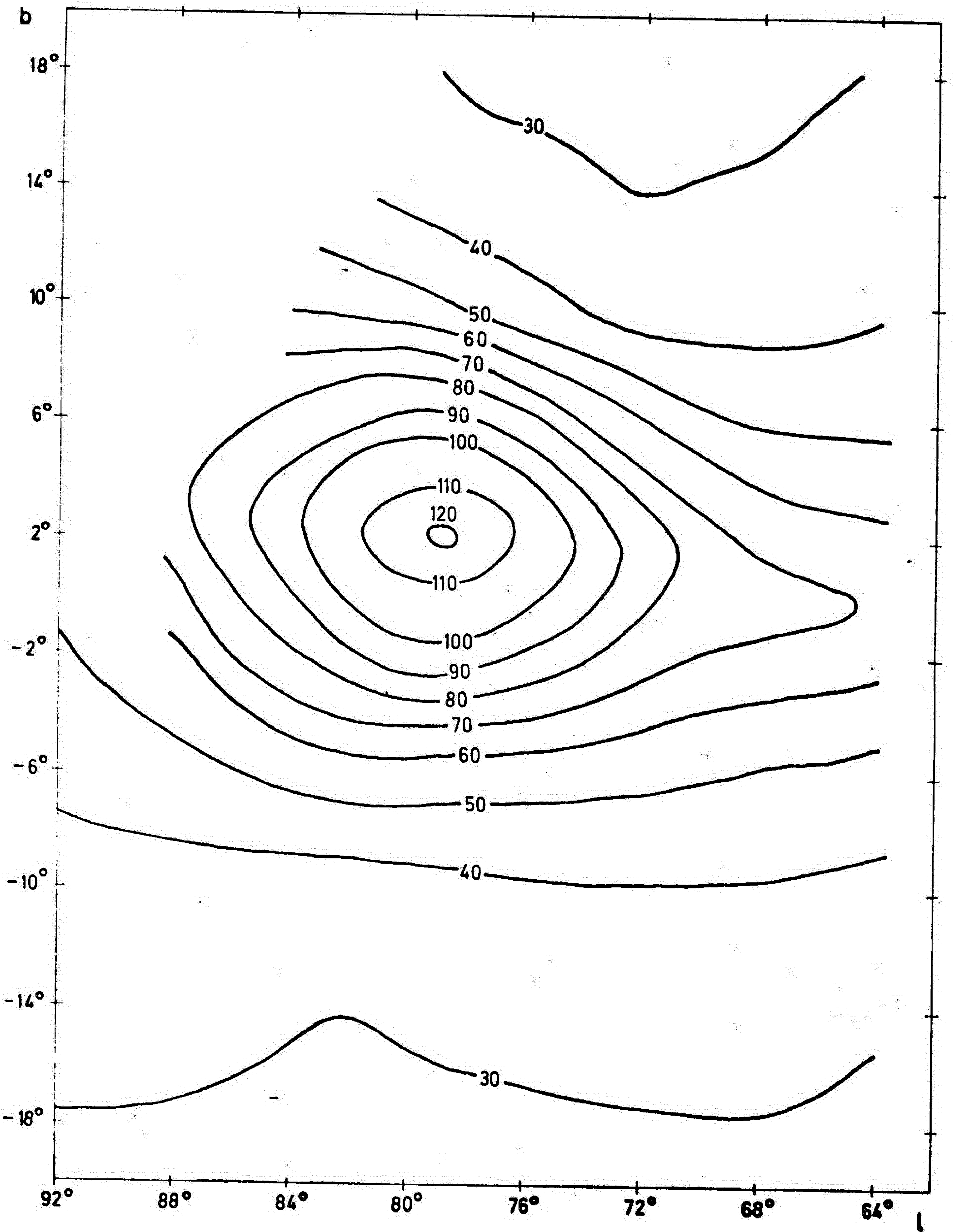
7.2.2. Karta Cyg X razdvojne moći $7^{\circ},7$ ($7^{\circ} 1/4 \times 8^{\circ} 1/4$)

Da bi ispitali Cyg X na 38 MHz i njegov spektralni indeks podrobnije, doprinos Cyg A je bio izračunat i oduzet od objavljenog pregleda neba na 38 MHz (Milogradov-Turin and Smith 1973) i od pregleda neba na 408 MHz svedenog konvolucijom na istu razdvojnu moć (Haslam 1975). Podaci na 38 MHz su bili redukovani za iznos od 6% jonosferske apsorpcije. Doprinos Cyg A je bio izračunat koristeći savremenu vrednost gustine fluksa zračenja Cyg A (Baars et al. 1977), koja je praktično ista kao i vrednost izvedena u ovoj tezi (str.121). Cyg A je bio smatran pri tome tačkastim izvorom posmatranim pomoću antene Gausovog glavnog snopa širine na polovini snage od $7^{\circ},7$. Prostorni ugao dijagrama antene je bio $2,46 \times 10^{-2}$ sr.

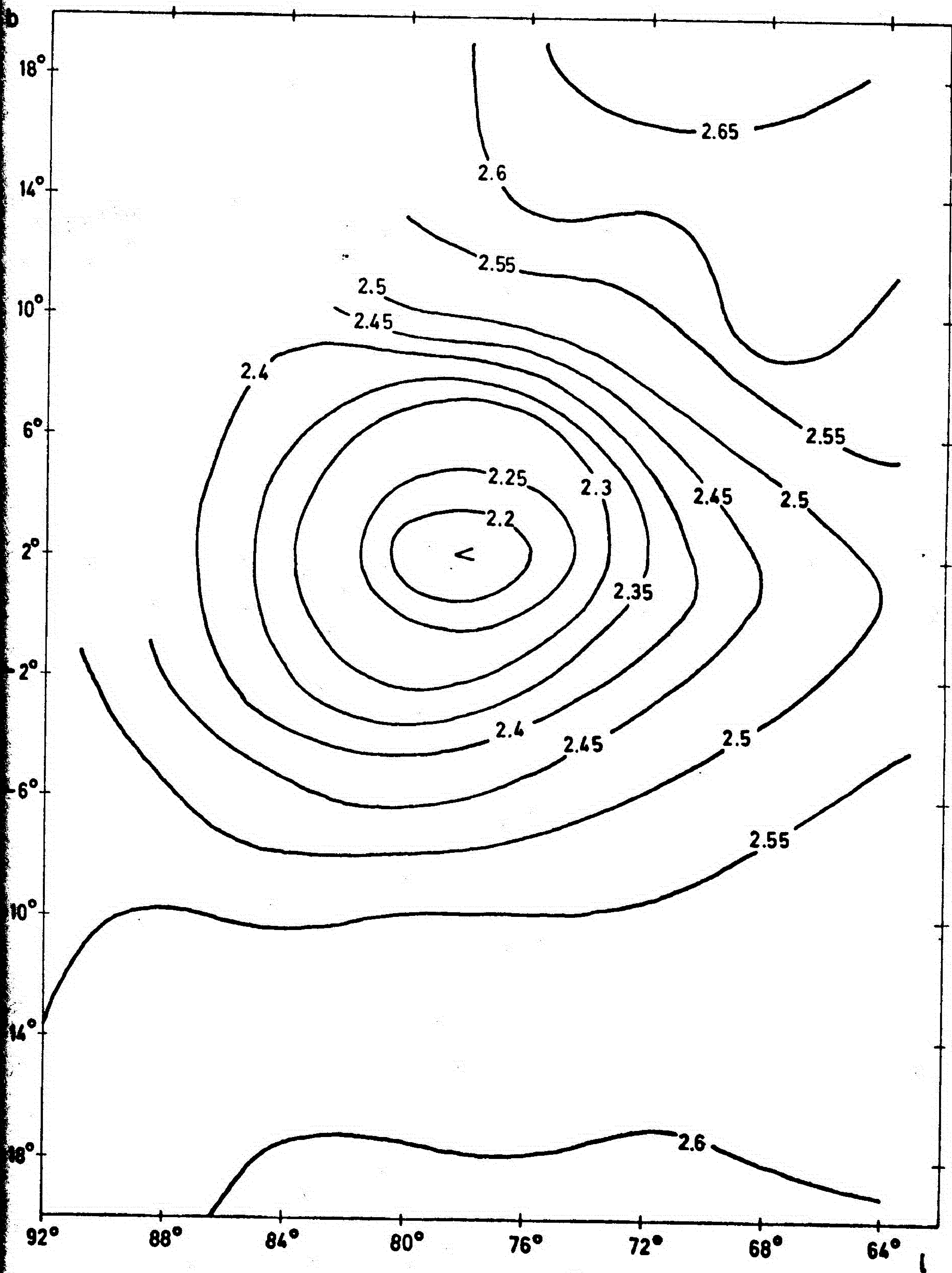
Karta antenskih temperatura dobijenih posle oduzimanja doprinosa Cyg A data je na slici 97. za 38 MHz, a na slici 98. za 408 MHz. Odmah pada u oči da se na 38 MHz Cyg X



Sljka 97. Karta oblasti Cyg X na 38 MHz posle uklanjanja Cyg A.
Jedinice su date u 1000 K.



Slika 98. Karta oblasti Cyg X na 408 MHz posle uklanjanja Cyg A. Temperature sjaja su u stepenima K.



Slika 99. Karta ukupnih spektralnih indeksa oblasti Cyg X posle uklanjanja Cyg A.

pojavljuje kao apsorpciona oblast, dok na 408 MHz Cyg X predstavlja sjajan radio-izvor sa središtem na $l = 79^\circ$, $b = 2^\circ$, superponiran na sjajnu pozadinu. Takvo se ponašanje može očekivati od izvora čije je zračenje pretežno toplotne prirode, kako je za Cyg X nadjeno iz posmatranja na visokim učestanostima (e.g. Mathewson et al. 1960, Wendker 1970).

7.2.3. Spektralni indeksi Cyg X oblasti izmedju 38 MHz i 408 MHz

Totalni temperaturski spektralni indeksi šire Cyg X oblasti izmedju 38 MHz i 408 MHz, oslobođeni od uticaja Cyg A su dati na slici 99.

Konture konstantnih spektralnih linija jasno pokazuju duboki minimum na mestu Cyg X.

Vrednosti spektralnih indeksa se kreću od 2.65 na ivici karte, daleko od Cyg X, do 2.1 na mestu Cyg X. Najviša vrednost je bliska spektralnom indeksu nadjenom na visokim latitudama u ovoj tezi (S1.66).

Najniža vrednost se brojčano poklapa sa teorijskom vrednošću spektralnog indeksa optički tanke oblasti jonizovanog vodonika.

Iako je privlačno interpretirati tako nisku vrednost spektralnog indeksa kao znak da Cyg X na 38 MHz još uvek predstavlja optički tanku H II oblast, to ne bi trebalo učiniti iz dva razloga. Prvo, zračenje koje stiže iz oblasti Cyg X na 38 MHz bi trebalo da sadrži značajnu netoplotnu komponentu. Drugo, antenska temperatura na mestu Cyg X je oko tri puta veća nego standardne elektronske temperature H II

oblasti. Teorija pokazuje da bi antenska temperatura morala biti manja odnosno najviše jednaka elektronskoj temperaturi tankog H II oblaka. Pošto je malo verovatno da bi Cyg X imao elektronske temperature tako visoke kao 24000 K, mora se zaključiti da je podudaranje minimalne vrednosti spektralnog indeksa na karti sa teorijskom vrednošću optički tankog oblaka slučajna. Nadjeni spektralni indeks je prema tome toliki jer je kombinacija toplotnog i netoplotnog spektra. Način kombinovanja zavisi od strukture i karakteristika izvora. Zbog tog poklapanja važno je kao sledeći korak preduzeti razdvajanje zračenja Cyg X na komponente.

7.2.4. Toplotna i netoplotna komponenta i optička dubina u oblasti Cyg X

Razdvajanje toplotne i netoplotne komponente je izvršeno klasičnom metodom Vesterhauta (Westerhout 1958), koja polazi od pretpostavke da su izvori obeju komponentata ravnomerno pomešani. Metoda je bila primenjena na podatke očišćene od Cyg A i popravljene za razliku u uglovnim veličinama izvora i antenskog snopa, koristeći ekvivalentne gausovske profile kao što je to opisano u prethodnom poglavlju. Jednačine za razdvajanje su uključivale vangalaktičko i reliktno zračenje. Računato je za vrh Cyg X, za tri kombinacije elektronskih temperatura T_e i spektralnih indeksa netoplotne komponente β_n . Rezultat računa za 38 MHz i 408 MHz je dat u tablici 20.

T a b l i c a 20.

Toplotna komponenta, netoplotna komponenta i optička dubina Cyg X na 38 MHz i 408 MHz

| | $T_e = 8000 \text{ K}$ $\beta_n = 2,5$ | $T_e = 8000 \text{ K}$ $\beta_n = 2,6$ | $T_e = 4000 \text{ K}$ $\beta_n = 2,55$ |
|--------------|---|---|--|
| T_t (38) | $5,70 \times 10^3 \text{ K}$ | $6,11 \times 10^3 \text{ K}$ | $3,32 \times 10^3 \text{ K}$ |
| T_n (38) | $2,63 \times 10^4 \text{ K}$ | $2,82 \times 10^4 \text{ K}$ | $3,80 \times 10^4 \text{ K}$ |
| τ (38) | 1,25 | 1,45 | 1,77 |
| T_t (408) | 68,1 K | 79,1 K | 48,4 K |
| T_n (408) | 69,6 K | 58,9 K | 89,3 K |
| τ (408) | $8,52 \times 10^{-3}$ | $9,89 \times 10^{-3}$ | $1,2 \times 10^{-2}$ |

Tablica 20. pokazuje da je netoplotna komponenta u pravcu Cyg X jaka. Taj rezultat govori u prilog interpretaciji karte spektralnih indeksa Cyg X date u 7.2.3.

Mala razlika između toplotne i netoplotne komponente na 408 MHz nije u neskladu sa zaključcima koje su raniji autori izvukli iz posmatranja na učestanostima većim od 400 MHz da je zračenje Cyg X na višim učestanostima pretežno toplotnog porekla (e.g. Mathewson et al. 1960, Wendker 1970 i reference u njima). Mi ovde analiziramo zračenje koje sadrži ne samo zračenje Cyg X, već i Persejeve grane.

Činjenice da je netoplotno zračenje znatno jače od toplotnog na 38 MHz dok na 408 MHz postaje skoro jednako s njim govori da, s obzirom na očekivanu razliku u spektralnim indeksima, inverzija nadmoćnosti mora da se odigrava u Cyg

oko 408 MHz.

Odnos toplotne komponente prema netoplotnoj komponenti je mnogo veći za Cyg X nego u pravcima ka unutrašnjim delovima Galaksije kako se vidi iz poredjenja sa rezultatima dobijenim u prethodnom poglavlju za $65^\circ > l > 4^\circ$, $b = 0^\circ$. Odnos toplotnog i netoplotnog dela je više no pet puta manji u tim pravcima nego u pravcu Cyg X sem za $l = 18^\circ$ gde je tri puta manji. U delu neba oko $l = 18^\circ$, medjutim, kako je pokazano u glavi 4 (i Milogradov-Turin 1981), zbog zaklanjanja dela zračenja iz središnjih delova Galaksije od strane tri bliska H II oblaka S 54, S 49 i S 45, nije zadovoljena pretpostavka o ravnomernoj raspodeli izvora, pa stoga količnik komponenti izračunat prema Vesterhautovom modelu nije u potpunosti tu zadovoljavajući.

Kada bi efekat zaklona bio značajan i u Cyg X, rešenje koje bi se dobilo obračunavajući ga u modelu potpunog zaklona dalo bi nepotpunu komponentu za 36% veću, optičku dubinu 36% manju, a toplotnu komponentu na 38 MHz 23% manju, u slučaju $\beta_n = 2,5$, $T_e = 8000$ K. Cyg X nije verovatno tako ekstreman slučaj, mada nije isključeno da je izvestan efekat zaklanjanja prisutan. Naime, iz ispitivanja na visokim učestalostima ne sledi da bi mnogo netoplotnog zračenja poticalo iz dalekih izvora u pravcu Cyg X. Medjutim, ta istraživanja pokazuju da se najkrupniji H II oblaci u Cyg X nalaze grupisani na daljini od oko 1,5 kpc od nas (Dickel et al. 1970).

U svim pomenutim modelima odnos toplotne prema netoplotnoj komponenti je više no dva puta veći u pravcu Cyg X, nego u bilo kom drugom pravcu unutar $4^\circ < l < 65^\circ$, $b = 0^\circ$. To pokazuje da je Cyg X izvor u kome je toplotna komponenta mnogo jača od prosečnog izvora, čak i na 38 MHz.

Treba očekivati da su vrednosti iz tablice 20. manje od stvarnih zbog male razdvojne moći polaznih podataka koja se ipak ne može u potpunosti nadoknaditi primenjenom obradom preko Gausovih profila.

Podaci iz tablice 20. su aproksimativni i zbog nesavršenosti korišćenog modela. Bolji model bi bio onaj u kome bi se uzela u obzir spiralna gradnja. Međutim, u postojećim uslovima nije moguće pouzdano izdvojiti udeo Persejeve grane, pa stoga ni postaviti takav model. Naime, posmatranja H I i H II (Georgelin and Georgelin 1976 i reference u tom radu), pokazuju da je materija veoma neravnomerno raspoređena duž Persejeve grane čak i unutar srazmerno malog raspona longituda. Dok su u pravcu $l = 60^\circ$ nadjene male gustine H I i H II, u pravcima oko $l = 80^\circ$ su zapaženi povećana gustina H I i nekoliko značajnih H II oblasti, tzv. važnih oblasti visokog ekscitacionog parametra.

Isto tako poznato je i iz ovog pregleda neba, da je zračenje radio-kontinuumu mnogo slabije iz pravca $l = 60^\circ$ no za longituda veće i manje oko tog pravca. Sve ovo pokazuje da ekstrapolacija nivoa zračenja od Persejeve grane iz pravca $l = 60^\circ$ na pravac $l = 80^\circ$ ne bi bila ispravna.

7.2.5. Netoplotna emisivnost u oblasti Cyg X

Netoplotna emisivnost je bila izračunata iz netoplotne komponente u tablici 20.

Predpostavljeno je da su elektroni raspoređeni duž celog pravca posmatranja do daljine od 13 kpc. Ova daljina sledi iz modela diska radiusa 15 kpc sa središtem u galaktičkom centru (7.1.4.). U tom slučaju sledi da je netoplotna emisivnost oko 2 K pc^{-1} u prva dva slučaja, i oko 3 K pc^{-1}

u trećem slučaju. Obe vrednosti su bliske onoj koja se dobija kada se netoplotna emisivnost u pravcu Cyg X izvedena na 10 MHz od strane Pertona (Purton 1966b) preračuna na 38 MHz. Vrednosti netoplotne emisivnosti izvedene ovde za Cyg X su znatno veće no prosečne vrednosti emisivnosti za $40^\circ < l < 65^\circ$, $b = 0^\circ$, koje su dobijene istim postupkom i pod istim uslovima (vidi prethodno poglavlje).

S obzirom na velike razlike izmedju do sada izvedenih emisivnosti u drugim pravcima i neodredjenosti koje prate njihovo izračunavanje (pregled u prethodno odeljku) vrednosti koje su dobijene ovde treba smatrati zadovoljavajućim.

7.2.6. Gustina elektrona u oblasti Cyg X

Koristeći podatke iz tablice 20. i standardnu vezu izračunate su prvo mere emisije, a zatim gustina elektrona. Dobijene su sledeće vrednosti za meru emisije za tabulirane kombinacije elektronske temperature i spektralnih indeksa: $2,9 \times 10^3$, $3,4 \times 10^3$ i $1,6 \times 10^3 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$.

Izračunavanje gustine elektrona je takodje skopčano sa problemom rasporeda elektrona duž pravca posmatranja. Uzimajući da su elektroni ravnomerno rasporedjeni duž puta od 5 kpc, kako bi sledilo iz modela Dikelove sa saradnicima (Dickel et al. 1970), i izgleda Persejeve grane prema Žorželinovima (Georgelin and Georgelin 1976), gustina od 0.8 elektrona po cm^3 se dobija u prva dva slučaja, a $0,6 \text{ cm}^{-3}$ u trećem slučaju.

Izvedene vrednosti za oblast Cyg X su nekoliko puta veće nego prosečna gustina elektrona za $40^\circ < l < 65^\circ$, izračunata pod istim uslovima i istim postupkom (vidi prethodno

poglavlje). Ta razlika ukazuje na to da je Cyg X oblast povećane gustine materije. Takvi sjajni i gusti lokalni ogranci su posmatrani u drugim galaksijama.

I za gustinu elektrona, i za netoplotnu emisivnost, i za meru emisija važi ista primedba: iako su vrednosti verovatno nešto manje od realnih, uporedni zaključci koji su izvučeni treba da su korektni.

G L A V A 8 .

Z A K L J U Č I

8.1. Najvažniji originalni doprinosi ove teze

Najvažniji originalni doprinosi ove teze su:

- 1) Autorova posmatranja na 38 MHz i njihovo svodjenje na apsolutna kalibrisana merenja.
- 2) Prvi put primenjen na radio-astronomske podatke kompletan obračun jonosferske apsorpcije.
- 3) Odredjivanje parametara novih malih krugova.
- 4) Izvodjenje prve raspodele ukupnih spektralnih indeksa izmedju 38 MHz i 408 MHz.
- 5) Tumačenje raspodele ukupnih spektralnih indeksa.
- 6) Izvodjenje diferencijalnih spektralnih indeksa izmedju 38 MHz i 408 MHz veće tačnosti.
- 7) Izvodjenje prvih diferencijalnih spektralnih indeksa izmedju 38 MHz i 10 MHz.
- 8) Stvaranje polivektornog modela . T-T grafika i tumačenje posmatračkog kvazihisterezisa.
- 9) Stvaranje "pravila krivine" za lukove.

- 10) Tumačenje spektra Severnog Polarnog Luka izvedenog iz diferencijalnih spektralnih indeksa.
- 11) Razjašnjavanje najvažnijih protivurečnosti dosadašnjih radova o spektralnim indeksima.
- 12) Analiza toplotne i netoplotne komponente na 38 MHz u oblasti galaktičkog ekvatora i Cyg X.

Navedeni redosled ne daje rang važnosti, već odražava redosled izlaganja u tezi.

Od navedenih 12 tačaka najznačajniji originalni autorovi doprinosi su oni koji se odnose na spektralne indekse (4 - 11). Zato će se o njima i dati poseban zaključak.

8.2. Opšti zaključak o zračenju na 38 MHz

Zračenje na 38 MHz je uglavnom netoplotne prirode. U galaktičkoj ravni i oblasti Cyg X je od velikog uticaja apsorpcija zračenja dalekih netoplotnih izvora od strane jonizovanog vodonika i njegovo toplotno zračenje. Time se mogu objasniti osobenosti radio-neba na 38 MHz, kao što su ~~sedla-like~~ suženje na $l = 18^\circ$ i odsustvo emisije na mestu Cyg X posle ~~redukcije~~ doprinosi Cyg A.

Uticaj spiralne strukture se oseća, ali s obzirom na razdvojni moć sagladjeno.

8.3. Opšti zaključak o spektralnim indeksima

Autor ove teze je rešio postavljeni osnovni zadatak: ispitivanje raspodele spektralnih indeksa i njegovo tumačenje na osnovi svojih sopstvenih posmatračkih podataka spregnutih sa materijalom iste razdvojne moći drugih autora.

Zaključak autora je da su za izgled raspodele spektralnih indeksa između 38 MHz i 408 MHz bitni zračenje Severnog Polarnog Luka, zračenje diska i apsorpcija od strane jonizovanog vodonika.

U svakom od tih objekata, kako je pokazao autor, postoji više od jedne komponente zračenja, što i dovodi do kvazihisterezisa T-T grafika. Sa spoljne, ispupčene strane luka, prisutna je komponenta znatno strmijeg indeksa, a što je naročito izraženo u slučaju Severnog Polarnog Luka.

Za spektar Severnog Polarnog Luka je autor nedvo- smisleno pokazao da u opsegu između 10 MHz i 1000 MHz ne pokazuje zavaljivanje preko maksimuma i da je i u području niskih učestanosti bitno drukčije od spektra galaktičkog pozadinskog zračenja. Nijedan od jednostavnih procesa, prema analizi autora, ne može da protumači izvedeni spektar Severnog Polarnog Luka, što pokazuje da je to mnogo slože- niji objekat no što se mislilo.

8.4. Opšti zaključak o geometriji lukova

Ispitivanja obavljena u ovoj tezi pokazuju da je udruživanje u male krugove osobina koja se može pripisati svim posmatranim lukovima. Sa tačnijim modernim podacima moguće je dobiti nove parametre malih krugova koji bolje zadovoljavaju zahteve.

8.5. Predlozi za dalje istraživanje

Dalja posmatračka istraživanja spektralnih indeksa moraju da se razvijaju

- 1) uključivanjem južnog neba,
- 2) povećanjem razdvojne moći,
- 3) proširenjem opsega učestanosti.

Za autora ove teze najostvarljivije je korišćenje treće mogućnosti preko objavljenih materijala drugih autora.

Pri analizi južnog dela neba naročitu pažnju treba posvetiti oblasti unutar Petlje I. Od interesa je i ispitivati generalizaciju pravila krivine za južne lukove.

Neobično je važno da se najzad uspe u merenju magnetnog polja u lukovima, što je moguće ostvariti samo na najvećim opservatorijama i uz opremu osetljiviju od današnje.

U vezi sa energetska spektra elektrona bilo bi važno dobiti tačniji spektar iz neposrednog merenja raspodele energije kosmičkih zračenja.

Sa teorijske strane veliko i skoro nedirnuto polje leži u razradi teorije radio-spektara. Sa tim problemom je neposredno povezano i poreklo Severnog Polarnog Luka, koje teorijski isto nije obradjeno.

Visi i dalje problem kosmičkih zrakova i njihovog zadržavanja u Galaksiji na čemu bi trebalo raditi i dalje i sa teorijske i sa posmatračke strane.

P R I L O G I

I S P I T I V A N J E G E O M E T R I J E P E T L J E I
I Z P O S M A T R A N J A V I S O K E R A Z D V O J N E
M O Ć I

P.1.1. Uvod

Ovo ispitivanje je izdvojeno u poseban odeljak priloga, jer su za njega korišćena posmatranja isključivo drugih autora, a ne posmatrački materijal ove teze koji je za ispitivanje geometrije nepogodan. Rezultati ispitivanja su novi i zaslužuju da budu izneti posebno.

P.1.2. Izračunavanje malog kruga Petlje I

Za izračunavanje putanje Petlje I u ovom radu su uzeti položaji grebena sa pregleda veće razdvojne moći, kako onih koji su postojali i ranije, ali nisu korišćeni u te svrhe, tako i novijih. Da bi se izbegle greške izazvane eventualnim razlikama u položaju glavnog grebena na raznim učestanostima, prethodno je ispitano da li takav efekat postoji. Zaključak ispitivanja je bio da zavisnost položaja od učestanosti za preglede na kojima se Severni Polarni Luk ceo vidi (tj. preglede iznad 150 MHz) ne postoji (vidi 4.4.2.1.1.1).

Pregledi koji su ovde korišćeni za analizu malog kruga Petlje I dati su u tablici 21.

Tablica 21.

pregleda neba korišćenih za izračunavanje krugova

| Autor | fMHz | Razdvojna moć | Ozna- ka |
|-------------------------------------|----------|------------------------------------|----------------|
| Landecker and Wielebinski (1970) | 150 | $3^{\circ}, 5 \times 3^{\circ}, 8$ | LW |
| Caswell et al. (1967) | 178 | $23' \times 18' \text{ sec } z$ | C |
| Large et al. (1966) | 240 | 1° | L |
| Haslam et al. (1970) | 408 | $0^{\circ}, 75$ | H ₁ |
| Haslam et al. (1974) | 408 | $37'$ | H ₂ |
| Sofue and Reich (1979) | 1420c* | 10 | SR |
| Fejes and Wesselius (1973) | 1420 1** | $0^{\circ}, 6$ | FW |
| Heiles (1975) | 1420 1 | $0^{\circ}, 6$ | H |

* Continuum; ** Spektralna linija.

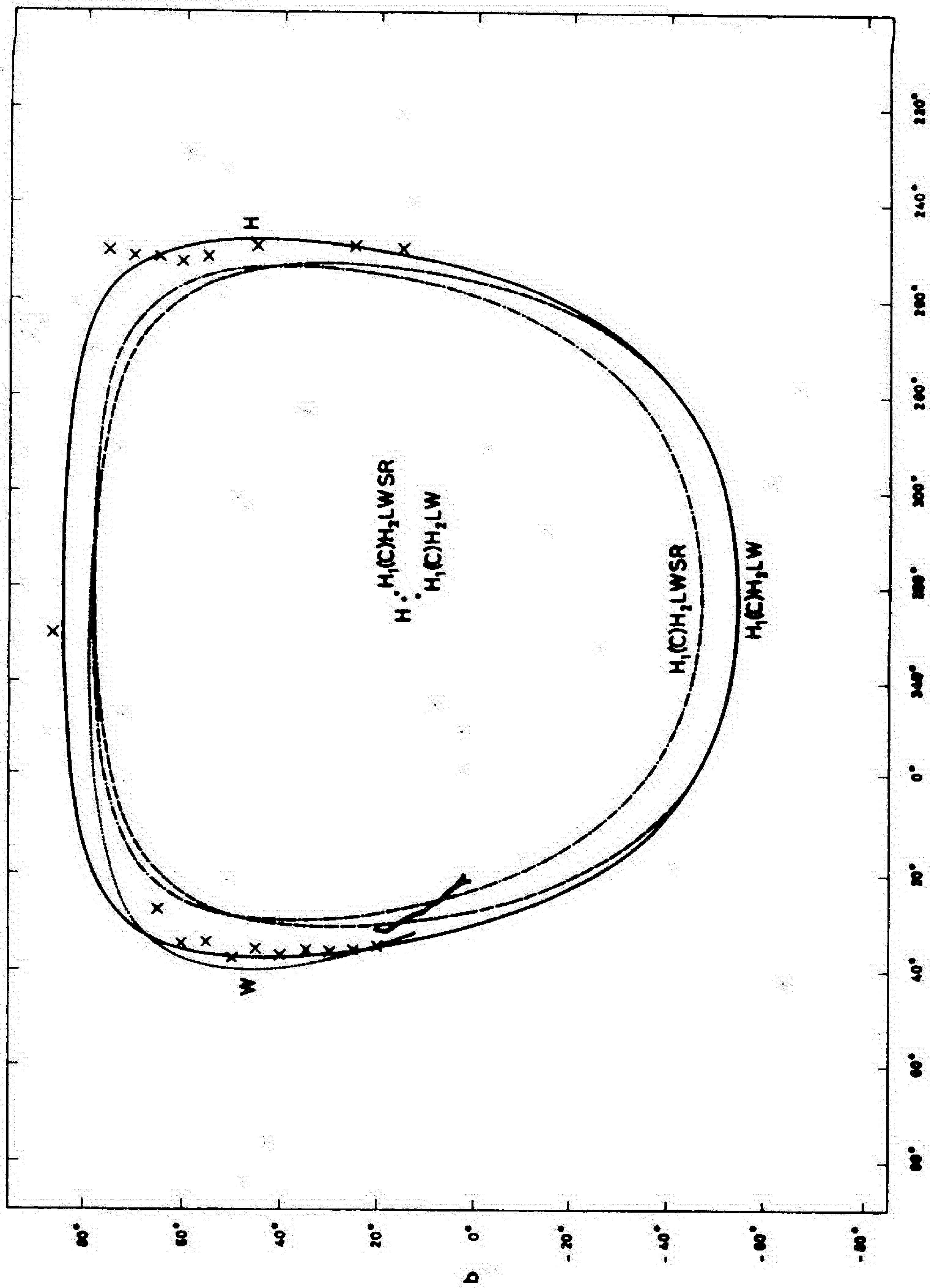
Osnovni razlog za ponovo izračunavanje malog kruga Petlje I je bio taj što je na pregledima neutralnog vodonika na visokim galaktičkim latitudama (Fejes and Wesselius 1973, Heiles 1975) uočena povećana koncentracija vodonika na oko $l = 250^{\circ}$, $b = 0^{\circ}$. Sami Feješ i Veselius (Fejes and Wesselius 1973) su taj vodonik pripisali grebenu koji su nazvali Sextans greben i sugerisali da između njega i Petlje I postoji veza. Iako su osporavali postojanje Sextans grebena, Hejlas i Dženkins (Heiles and Jenkins 1976) nisu bili potpuno kategorični u pogledu veze vodonika nižih brzina oko $l = 250^{\circ}$ i Petlje I. Kao što je to pokazano od strane Soltera (Salter 1970) i objavljeno u članku Berkhuijsenove sa saradnicima (Berkhuijsen et al. 1970), povećana koncentracija neutralnog vodonika niskih brzina postoji sa drugog kraja

Petlje I, na $l \approx 40^\circ$, $b > 0^\circ$, na mestu oštrog spoljnjeg gradijenta radio-zračenja kontinua. Stoga se povećanje može očekivati i na drugim delovima. Nijedan od pomenutih autora, međutim, nije izračunavao parametre kruga koji bi odgovarao posmatranjima u H I.

U ovoj tezi izračunati su mali krugovi koji odgovaraju obema kartama neutralnog vodonika. Jasno je, međutim, da rezultati zasnovani na Tolbertovom pregledu (Fejes and Wesselius 1973) ne mogu biti tako pouzdani kao oni zasnovani na Hejlasovom (Heiles 1975) pregledu, jer je ovaj prvi znatno siromašniji u uzorcima (uzimani su tek svakih 5° i po longitudi i po latitudi) od drugog (svakih $0^\circ,3$). Tačke korišćene za izračunavanje su morale biti uzimane sa sredine glavnog tela grebena, a ne sa najsjajnijih mesta, jer je samo tako u slučaju neutralnog vodonika mogao biti očuvan jedinstven priterijum u svim delovima Petlje I.

Na slici 100, gde je dat mali krug izračunat iz Hejlasovih posmatranja, krstićima su označeni položaji tačaka korišćenih za izračunavanje. U slučaju Tolberovog pregleda tačke su za $b < 65^\circ$ uzimane iz tablice položaja grebena koje su skupili Feješ i Veselius (Fejes and Wesselius 1973). Za $b > 65^\circ$ podaci su mogli biti uzeti jedino iz Hejlasovog pregleda (Heiles 1975). Parametri izračunatih malih krugova dati su u tablici 22.

Pošto se koordinate središta kruga koji odgovara neutralnom vodoniku znatno razlikuju od onih koji je za kontinuum izračunao Solter (Salter 1970, Berkhuijsen et.al. 1971), odlučeno je da se nanovo ispituju podaci za kontinuum.



Slika 100. Tri mala kruga Petlje I izračunata iz pregleda označenih prema tablici 21.

Pažljivo posmatranje dela oko $l = 250^\circ$, $b = 25^\circ$ na pregledu sa 240 MHz, sa koga je prvobitno i računat prvi mali krug Petlje I (Large et al. 1966), pokazuje da tu postoje dva luka: spoljni ($l = 250^\circ$) označen sa C, i unutrašnji ($l = 268^\circ$), označen sa B. Spoljni greben bolje odgovara položaju povećane koncentracije neutralnog vodonika, ali je manje izražen od unutrašnjeg. Oba luka Berkhujsenova (Berkhuijsen 1971) je unela na kartu grebenova Petlje I koju je skupila (slika 105).

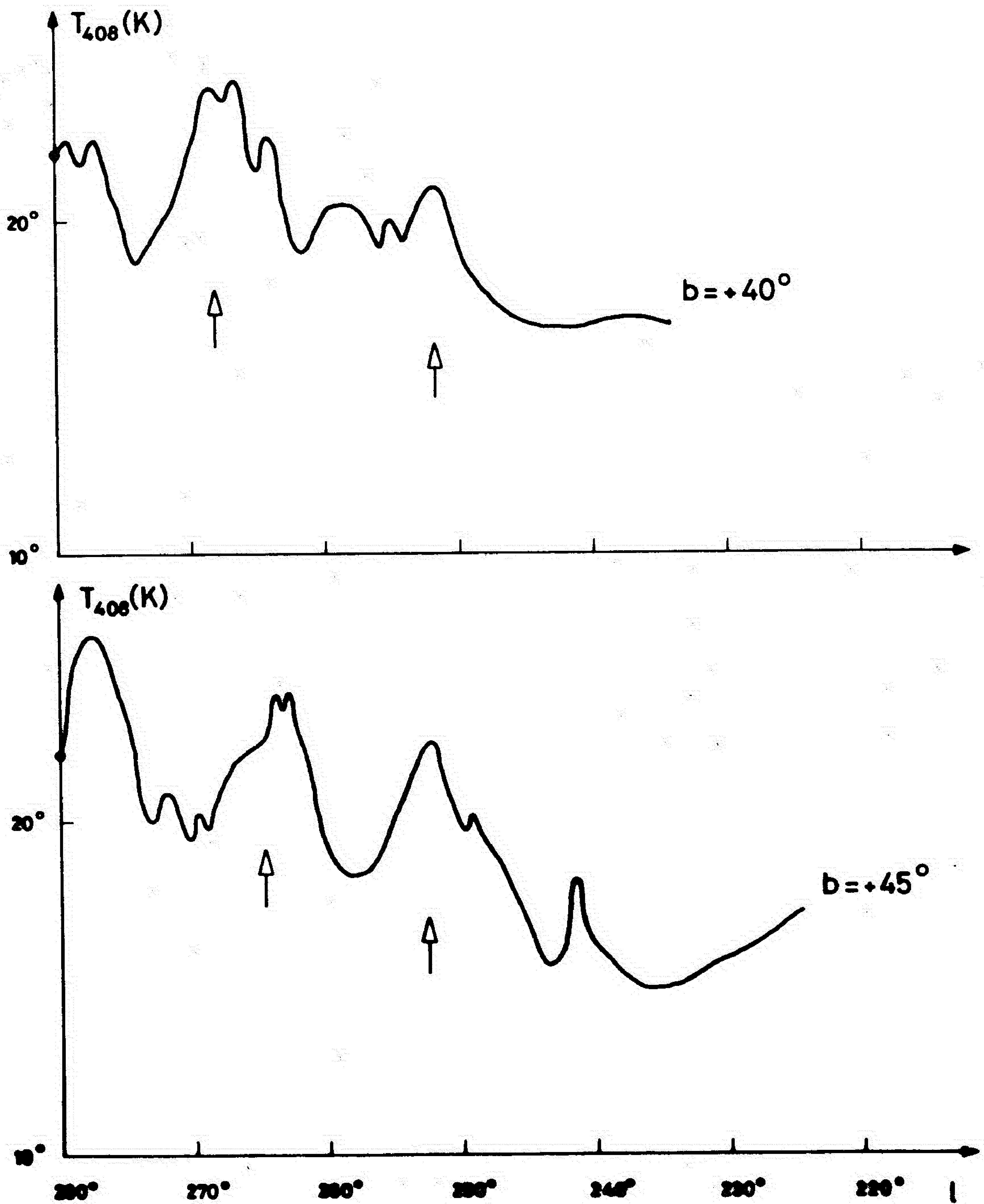
Na pregledu anticentra na 408 MHz (Haslam et al. 1970) jasno se vide grebenovi na $l = 250^\circ$ i $l = 270^\circ$, pa i na $l = 280^\circ$. Dva latitudna preseka iz te oblasti su data na slici 101. Spoljni greben je na oba pregleda slabiji po intenzitetu.

Spoljni greben, iako je nacrtan na karti neba na 150 MHz (Landecker and Wielebinski 1970), prisutan je u podacima na 150 MHz. Nanovo nacrtana karta tog dela neba na 150 MHz za potrebe ove teze (Slika 102) jasno pokazuje postojanje spoljnog grebena ($\alpha = 9^h, 7$) i unutrašnjeg grebena ($\alpha \approx 10^h$) na niskim deklinacijama. Taj pregled dodaje tačku više ($\delta = -25^\circ$) grebenu uočenom na 240 MHz.

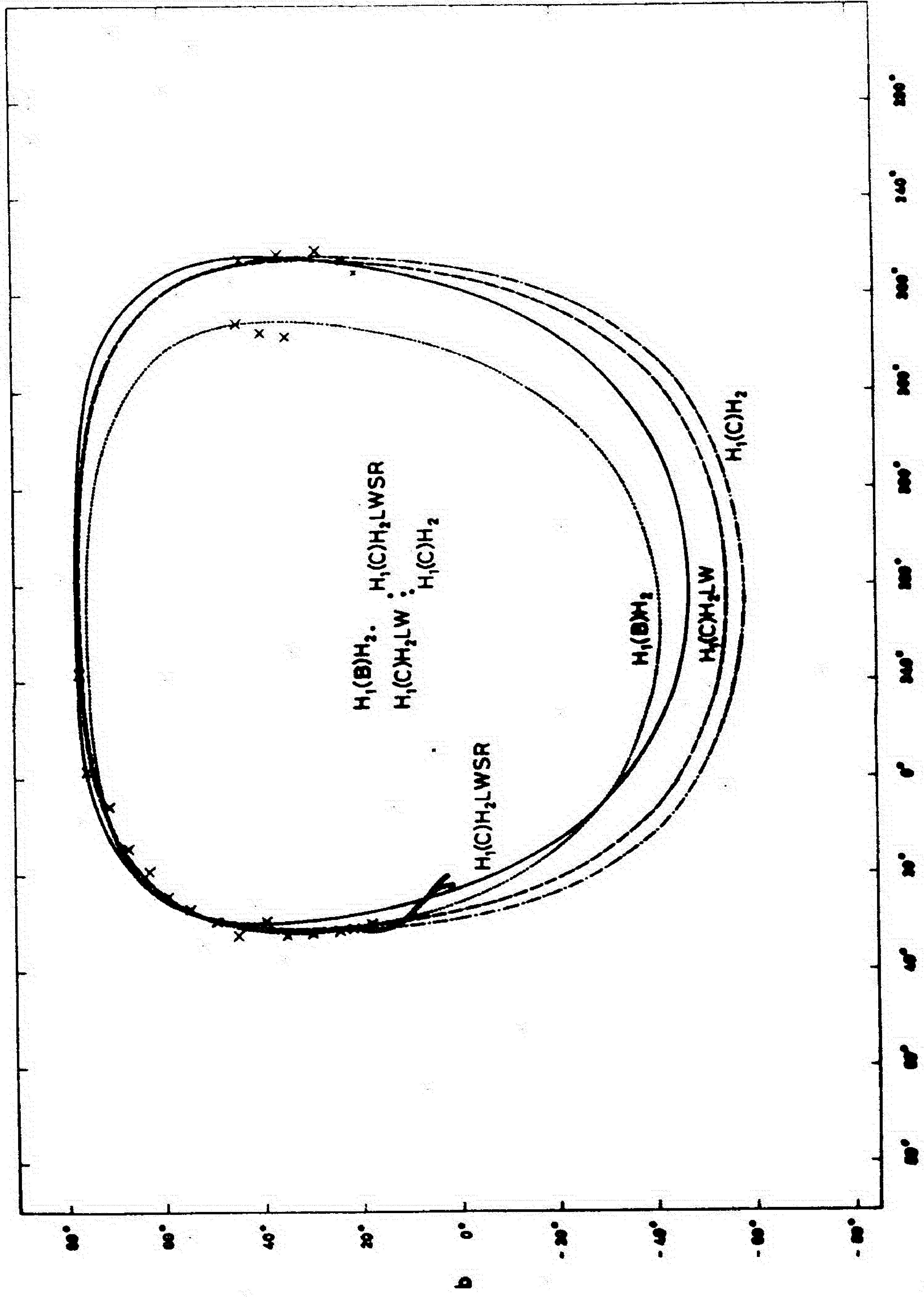
Ostali objavljeni pregledi veće razdvojne moći ovu oblast ne pokrivaju, jer je nezgodno postavljena, suviše nisko nad horizontom, za većinu opservatorija.

Na konvoluiranoj verziji pregleda celog neba na 408 MHz (Haslam et al. 1982) razdvojne moći 2° , koja je autoru ove teze ljubazno poslata, spoljni greben je znatno manje izražen.

Slično je stanje i na pregledu neba razdvojne moći oko 2° na 400 MHz (Seeger et al. 1965).



Slika 101. Preseci kroz grebenove na 408 MHz u okolini slabijeg kraja Petlje I.



Slika 103. Četiri mala kruga Petlje I izračunata iz pregleda označenih prema tablici 21.

Polazeći od stanovišta da spoljni greben ($l = 250^\circ$) može predstavljati nastavak Severnog Polarnog Luka, i da pregled na 150 MHz ne može odstupati od onog na 408 MHz, izračunati su parametri malog kruga $H_1(C) H_2$ u kome su korišćeni samo podaci na 408 MHz i parametri malog kruga $H_1(C) H_2$ LW. Oznake ovde upotrebljene znače da je za oba kruga korišćeni: za Severni Polarni Luk pregled neba H_2 iz tablice (Haslam et al. 1974), a za greben na $l = 250^\circ$ u prvom slučaju korišćen pregled H_1 , a u drugom slučaju i poboljšani crtež prema podacima pregleda LW (Landecker and Wielebinski 1970). Zamena podataka iz pregleda na 408 MHz i 178 MHz nije donela ništa novo, jer se posmatranja Severnog Polarnog Luka u ta dva pregleda (Haslam et al. 1974, Caswell et al. 1967) slažu. Uzorci su uzimani sredinom grebena po Solterovom kriterijumu (Salter 1970). Izračunati parametri su dati u tablici 22, a krugovi na slici 103. Krstićima su, kao što je to uobičajeno, obeležene tačke u kojima su uzimane vrednosti korišćene za računanje krugova. Radi poredjenja dati su i podaci za unutrašnji greben i odatle računati Solterov mali krug Petlje I (Salter 1970). Preradjena karta na 150 MHz je dala dodatnu tačku na $b = 255^\circ,5$ koja je ovde označena manjim krstićem.

Solter (Salter 1978) je rekao autoru ove teze da je on pokušavao da koristi spoljni ($l = 250^\circ$) greben, ali da je tu varijantu odbacio, jer je izračunata greška tog kruga bila veća od greške kruga podešenog na unutrašnji ($l = 270^\circ$) greben.

Bitna promena u veličini greške se može očekivati tek znatnim povećanjem broja posmatranih tačaka i to naročito u delovima Petlje paralelnim galaktičkom ekvatoru.

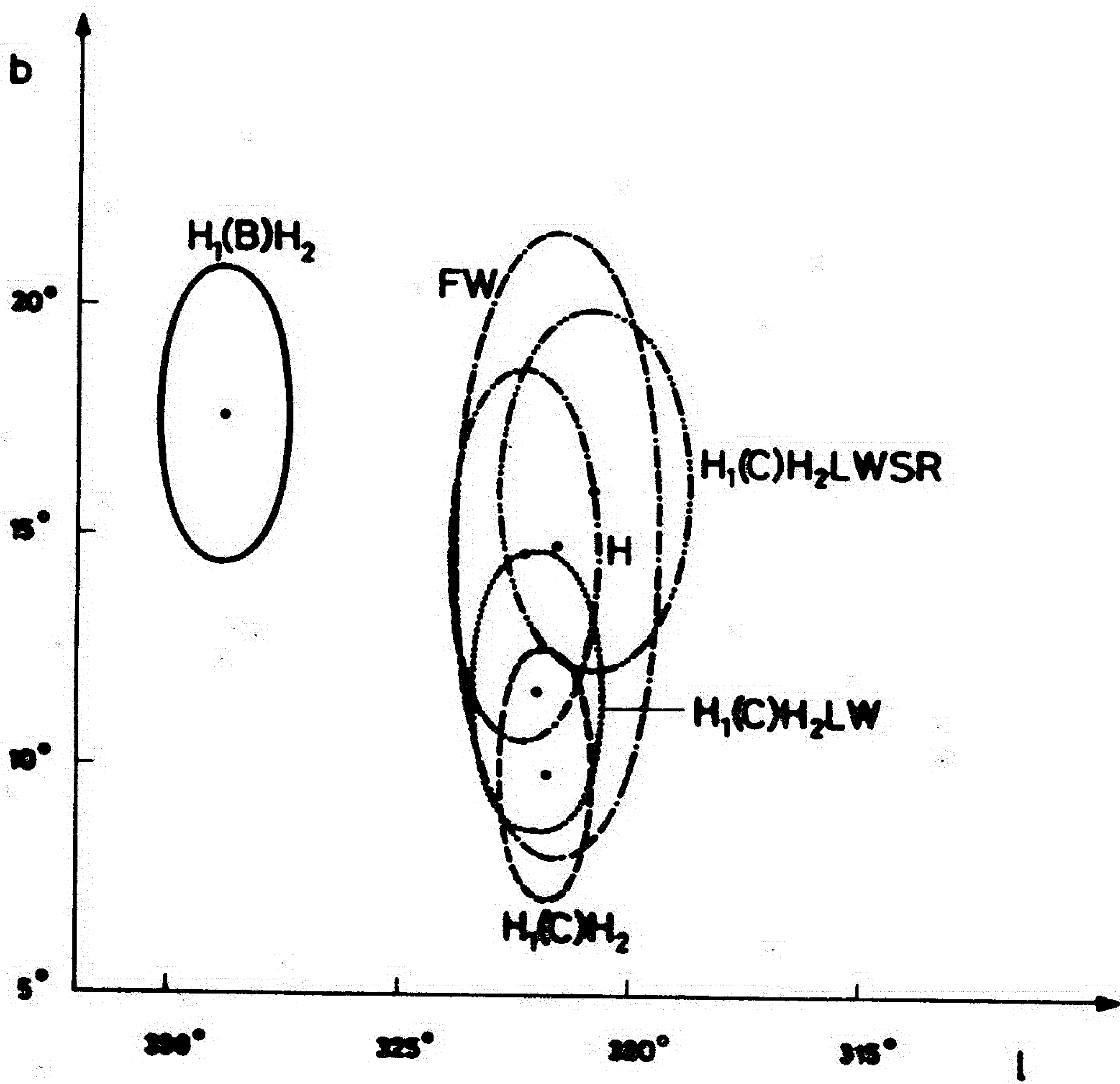
U tom smislu ni posmatranja Severnog Polarnog Luka visoke razdvojne moći obavljena na 1420 MHz (Sofue and Reich 1979), iako na najvišoj korišćenoj učestanosti do sada za taj objekat, nisu dala bitno poboljšanje. Oni su uspeli da, zahvaljujući ogromnoj razdvojnoj moći i oduzimanju pozadinskog zračenja, izdvoje nekoliko grebenova u oblasti $20^{\circ} < l < 30^{\circ}$, $2^{\circ} < b < 20^{\circ}$. Gornji deo ($b > 14^{\circ}$) grebena leži veoma blizu malog kruga, dok donji deo znatno od njega odstupa i to, kako južni (po njihovoj nomenklaturi), tako i severni krak. To se jasno može videti sa slike 103, gde su grebenovi iz rada Sofju i Rajha predstavljeni tačkama spojenim linijom u navedenoj oblasti ($l = 25^{\circ}$, $b = 10^{\circ}$). Iako i sami Sofju i Rajh ne tvrde da deo između $(l, b) = (24^{\circ}, 6^{\circ})$ i $(22^{\circ}, 3^{\circ})$ sigurno čini deo Petlje I, oni ipak sugerišu da bi to mogao biti nastavak Severnog Polarnog Luka. Taj deo zaklapa oštiri ugao sa galaktičkim ekvatorom, kako su oni uočili, nego sam Severni Polarni Luk. Poredjenje položaja grebena na 1420 MHz i 408 MHz je pokazalo autoru ove teze da je slaganje dobro sve do granice pregleda na 408 MHz ($l = 22^{\circ}, 5$, $b = 3^{\circ}, 5$). Smatrajući da navedena činjenica mogu biti shvaćene da grebenovi posmatrani od strane Sofjua i Rajha (Sofue and Reich 1979) čine nastavak Severnog Polarnog Luka u pravcu galaktičkog ekvatora, izračunat je mali krug koji bi uključivao i podatke sa 1420 MHz. Parametri krugova računatih za oba račvanja (n - severno, s - južno) su dati u tablici 22. Pošto se parametri za oba račvanja veoma malo razlikuju, moguće je bile nacrtati na već postojećem grafiku (slika 103), samo jedan krug $H_1(C)H_2$ SRLW kroz spoljni greben. Oznake su date po istom kriterijumu kao i malopre.

Radi kompletnosti u tablici su dati i parametri krugova podešenih na unutrašnji greben ($l = 270^\circ$). Oni su označeni sa (B), za razliku od onih gde je korišćen spoljni greben (C).

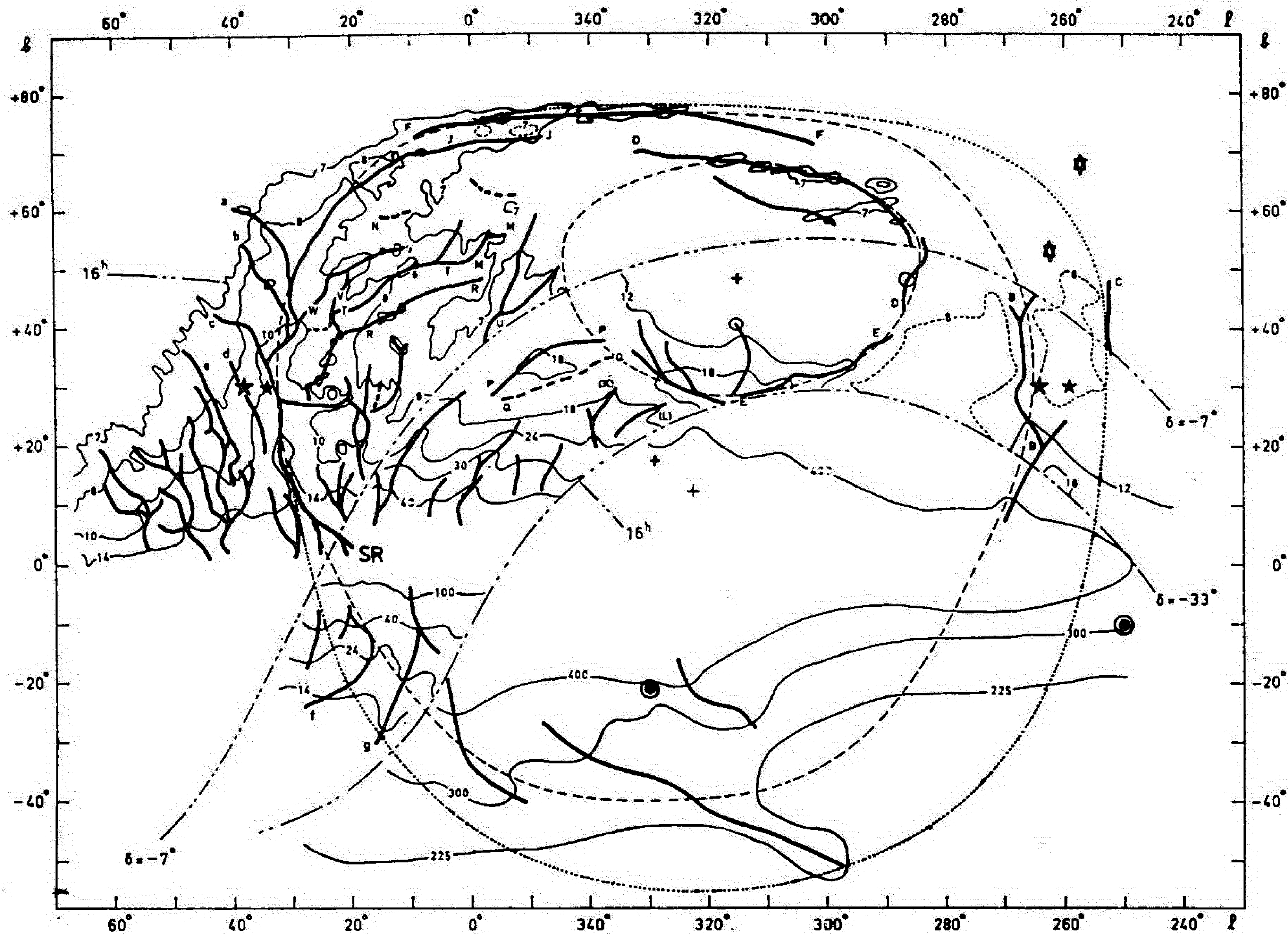
Tablica 22.

Parametri malih krugova Petlje I

| Referenca kruga prema tablici 21. | Galaktičke koordinate središta | | Poluprečnik |
|---|-----------------------------------|------------------|------------------|
| | l ($^\circ$) | b ($^\circ$) | R ($^\circ$) |
| $H_1(B)H_2$ | $328,8 \pm 1,4$ | $17,5 \pm 3,1$ | $58,4 \pm 2,0$ |
| $H_1(B)H_2$ SR_n | $329,0 \pm 1,8$ | $20,8 \pm 2,3$ | $55,9 \pm 0,9$ |
| $H_1(B)H_2$ SR_s | $329,0 \pm 1,7$ | $20,8 \pm 2,2$ | $55,9 \pm 0,9$ |
| $H_1(C)H_2$ | $321,8 \pm 1,1$ | $9,8 \pm 2,0$ | $67,7 \pm 1,3$ |
| $H_1(C)H_2$ LW | $322,0 \pm 1,4$ | $11,6 \pm 2,9$ | $66,2 \pm 1,8$ |
| $H_1(C)H_2$ LW SR_n | $321,4 \pm 2,0$ | $15,8 \pm 3,4$ | $63,3 \pm 1,5$ |
| $H_1(C)H_2$ LW SR_s | $321,4 \pm 2,0$ | $16,0 \pm 3,9$ | $63,2 \pm 1,6$ |
| FW | $321,8 \pm 2,2$ | $15,0 \pm 6,2$ | $68,1 \pm 4,1$ |
| H | $322,4 \pm 1,6$ | $14,6 \pm 4,0$ | $69,0 \pm 2,8$ |



Slika 104. Središta izračunatih malih krugova Petlje I sa elipsama greški. Oznake su prema tablici 21.



Slika 105. Novi mali krug Petlje I superponovan preko slike grebenova izrađene od strane Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1971).

Šestokrakim zvezdama su označeni 3C 263 i 3C 267 koji prema Šapirovskej (Shapirovsckaya 1978) imaju uglove rasejanja mnogo veće no izvori van oblasti Severnog Polarnog Luka. Ispunjenim zaokruženim kružićima označeni su krajevi izrazitog HI vlakna sa pregleda (Cleary et al. 1979). Luk označen sa SR dodat je prema pregledu (Sofue and Reich 1979).

Na slici 104. predstavljena su središta izračunatih malih krugova sa elipsama grešaka na nivou od 95% pouzdanosti.

Na slici 105. data je superpozicija malog kruga $H_1(C)H_2$ LW preko slike grebenova iz oblasti Petlje I, koju je sastavila Berkhuijsenova (Berkhuijsen 1971), i kojoj su dodati grebenovi na 1420 MHz (Sofue and Reich 1979), obeleženi sa SR. Novi krug (tačkasta linija) je povučen samo u onim delovima gde znatnije odstupa od starog ($H_1(B)H_2$) koji je označen iscrtanom linijom.

Na slici 55. data je superpozicija starog i novog kruga kontinuuma preko karte neutralnog vodonika Feješa i Veseliusa (Fejes and Wesselius 1973).

Na slikama 58, 59. i 63. prikazan je krug Petlje I izračunat ovde kako je superponovan preko raspodele H I (Heiles 1975).

P.1.3. Analiza novih alternativa Petlje I

Zaključak koji se nameće, već pri prvom pogledu na tablicu 22. i slike 100. i 103, jeste da su novo-izračunati mali krugovi koji prolaze kroz greben C u radio-kontinuumu, bliski malim krugovima izračunatim iz raspodele neutralnog vodonika. To je naravno i bilo očekivano, s obzirom na slaganje položaja radio-grebena sa povećanom koncentracijom vodonika na $l = 250^\circ$. Najbolje slaganje položaja kruga vodonika izračunatog iz Hejlasovih podataka (H) je sa krugom kontinuuma izračunatim iz podataka na 408 MHz i 150 MHz, uključujući greben na $l = 250^\circ$ ($H_1(C)H_2$ LW). Središta i poluprečnici tih krugova se poklapaju unutar granica grešaka. Odstupanja posmatranih grebena od ovih malih krugova nisu neuobičajena i mogu predstavljati neizbežne nesavršenosti.

Argument u prilog pravilnosti povezivanja Severnog Polarnog Luka sa grebenom na $l = 250^\circ$ je i sledeći zaključak koji je autor ove teze izvukao iz analize rada Šapirovske (Shapirovskaia 1978). Ona je, naime, pokazala da su ugao rasejanja zračenja vangalaktičkih izvora i disperzione mere pulsara veći za izvore koji su unutar petlji, no za one van njih. Bliže razmatranje njenih podataka je pokazalo da radio-izvori 3C 263 I i 3C 267, koje je ona uvrstila medju izvore van petlji pokazuju uglove rasejanja daleko veće nego drugi iz iste grupe. Šta više, njihov ugao rasejanja je veoma blizak kvadratnom korenu srednjeg kvadrata ugla rasejanja koji je ona dobila za izvore unutar petlji. Ova dva izvora su na slici 105, označena šestokrakom zvezdom. Oni leže,

kao što se vidi, taman unutar kruga izračunatog ovde za neutralni vodonik (H), a blizu oblasti povećane koncentracije vodonika na Hejlasovom pregledu neba. Ova veza bi mogla značiti da uzrok, koji je dovodio do povećanog rasejanja izvora, koje je Šapirovska klasifikovala kao izvore unutar petlji, deluje i na ova dva izvora.

Činjenica da jedan od ovih izvora leži van novog kruga radio-kontinuumu mogla bi se shvatiti kao indikacija da se greben na $l = 250^\circ$ proteže i nešto dalje u istom pravcu, ali da je tako slab da na ovim pregledima to nije uočeno. U tom slučaju bi krug kontinuumu bio još bliži krugu vodonika, pa bi se i drugi izvor uklopio u krug kontinuumu. Drugo tumačenje bi moglo biti da je za opisane pojave u toj oblasti odgovoran medium koji se poklapa po položaju sa vodonikom. Treće tumačenje jeste možda i najverovatnije, da ne mora materija duž celog luka ležati duž kruga, odnosno, sferne ljuske. Lokalni uslovi mogu veoma mnogo uticati na odstupanja.

Autor ove teze smatra da su realniji krugovi koji su računati bez uzimanja grebena na 1420 MHz. Razlog za to nije neverica u te grebenove, već mišljenje da ovi grebenovi nisu imali verovatno isti razvoj kao i sam Severni Polarni Luk. Autor čak veruje da grebenovi uočeni na 1420 MHz zbilja predstavljaju nastavak Severnog Polarnog Luka, jer je nagib tih grebenova sličan nagibu obvojnice Severnog Polarnog Luka. Ta sličnost se može jasno uočiti na slici 100. gde su predstavljeni linija strmog gradijenta prema Viveru (Weaver 1976), data tačkastom linijom, uporedo sa grebenovima na 1420 MHz, datim kratkom punom linijom. Pošto su i

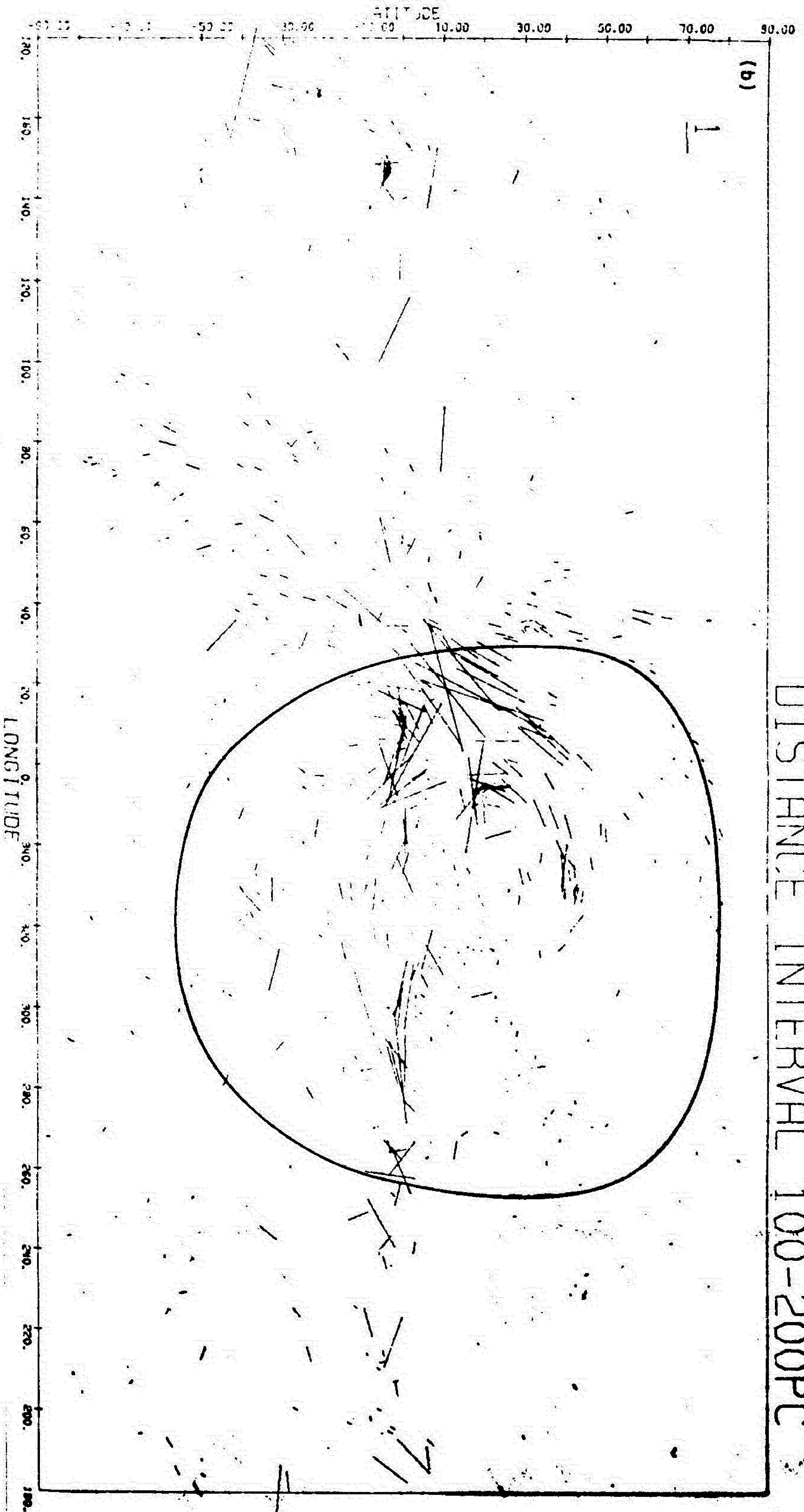
Viver (Weaver 1976) i Sofju i Rajh (Sofue and Reich 1979), obračunavali emisiju od galaktičke ravni, te dve vrste podataka su uskladjene i sličnost zaslužuje pažnju. Autor ove teze smatra da je, verovatno zbog veće gustine materije u galaktičkoj ravni, na niskim latitudama došlo do sporijeg širenja omotača Petlje I. Takva pojava bi mogla dovesti do manje razlike između položaja glavnog grebena i položaja gradijenta. Zato i ne bi trebalo očekivati da, ako je do usporavanja došlo, grebenovi na niskim latitudama leže na istom krugu kao i glavni deo Severnog Polarnog Luka. Ovaj argument je u važnosti, bez obzira na to da li je ljuska, koja se vidi kao luk, nastala eksplozijom supernove ili na neki drugi način, kao što su to sugerisali napr. Viver (Weaver 1979) ili Kafatos i Morison (Kafatos and Morrison 1973).

Interakcija sa medjuzvezdanim gasom je možda dovela do nejasne povezanosti grebenova južno od galaktičke ravni sa Severnim Polarnim Lukom. Većina južnih grebenova koji se vide na skupnom crtežu sa slike 105. leže svi unutar novog malog kruga. On bolje zadovoljava njihov raspored nego stari krug (vidi sliku 105). Možda će analiza pregleda južnog neba na 408 MHz (Haslam et al. 1982) doneti nešto novo u tom pogledu. Za sada se sa konvoluirane verzije tog pregleda na 2° razdvojne moći, koju autor ove teze poseduje, mogao izvući zaključak da opšti raspored emisije južno od galaktičke ravni za $30^\circ > l > 300^\circ$ govori u prilog većeg kruga no što je stari "kontinuum" krug. Greben na $b = -20^\circ$, $l = 255^\circ$ leži malo izvan novog malog kruga kontinuum, tako da se ne može smatrati sigurnim nastavkom

opisanog luka na $l = 250^\circ$, $b = 30^\circ$. Grebenovi koji se vide na skupnom crtežu sa slike 105, također bolje leže u odnosu na novi krug.

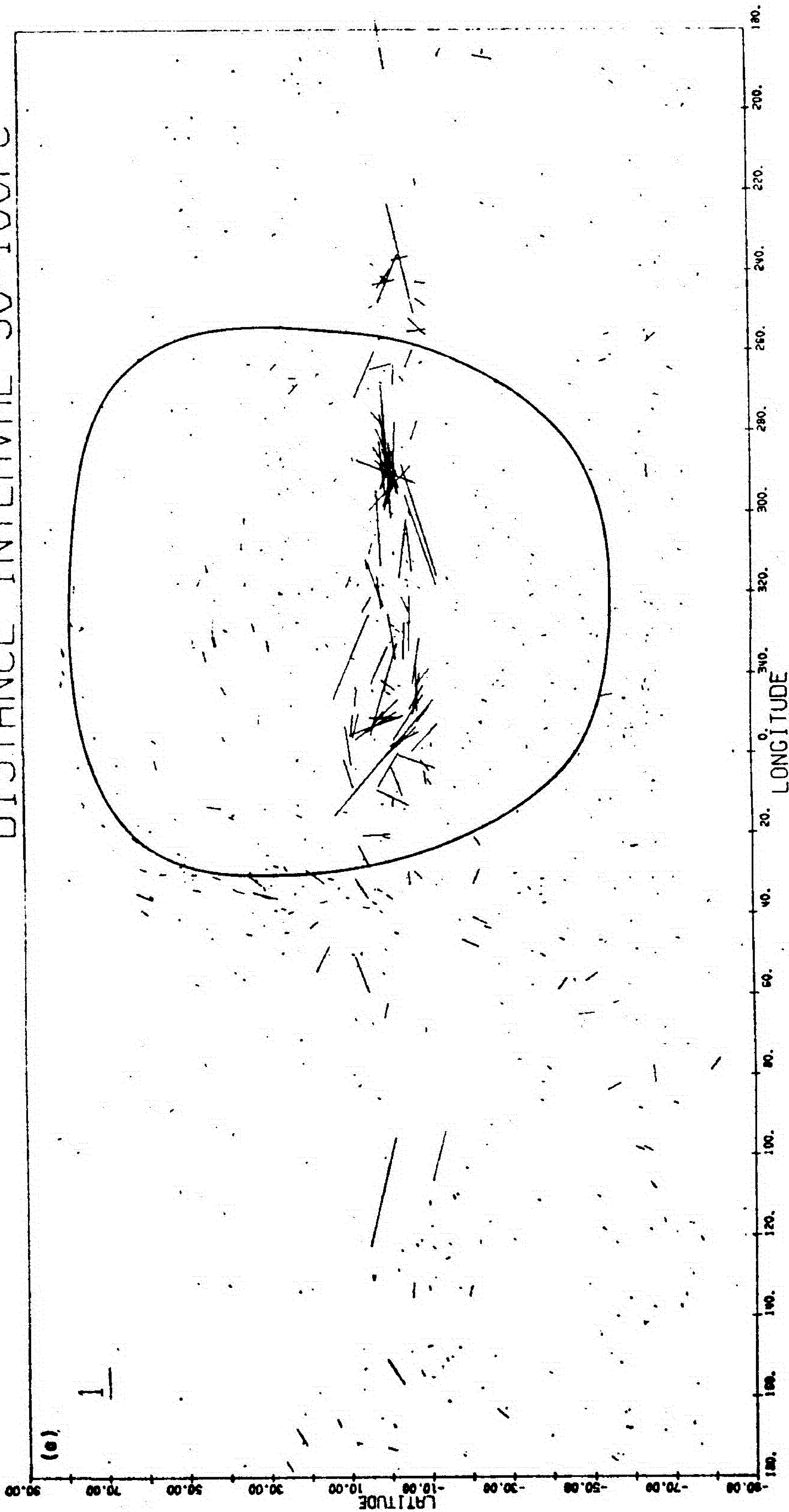
Ni karte neutralnog vodonika južno od galaktičke ravni (McGee et al. 1963, Cleary et al. 1979) ne pokazuju jasnu korelaciju između Petlje I i H I. Na pregledu Klirijeve i njenih saradnika (Cleary et al. 1979) postoji veoma izrazito vlakno H I, između $l = 250^\circ$, $b = -10^\circ$ i $l = 330^\circ$, $b = -22^\circ$, koje ne leži duž kruga Petlje I i čije su poreklo, kao jednu mogućnost, pripisali vetru od Sco-Cen asocijacije. Taj vetar je predložio Viver (Weaver 1979) kao jedan od važnih uzročnika izgleda Severnog Polarnog Luka. Pošto to vlakno malo izlazi van svih ovde izračunatih krugova i ne leži duž nekog od njih, njegovo postojanje se ne može smatrati argumentom u prilog opravdanosti novog kruga, ali ni argumentom protiv, jer se veličina odstupanja uvek može opravdavati lokalnim poremećajima.

Novoizračunati krug nešto bolje odgovara rasporedu E-vektora polarizacije optičkog zračenja zvezda, nego stari. To se može videti sa slike 56, na kojoj su superponirani krugovi petlji preko karte koju su izradili Metjuson i Ford (Mathewson and Ford 1970). Na delu suprotnom Severnom Polarnom Luku, novi krug čini svojevrsnu granicu između dela u kome je izmerena znatna polarizacija i dela sa izrazito malom polarizacijom. U oblasti galaktičke severne polarne kape pravac vektora je skoro paralelan novom krugu. Isto slaganje se zapaža i na novijoj karti vektora polarizacije Eksona i Elisa (Axon and Ellis 1976) preko koje je nacrtan novoizračunati krug (sl. 106, 107 i 108).

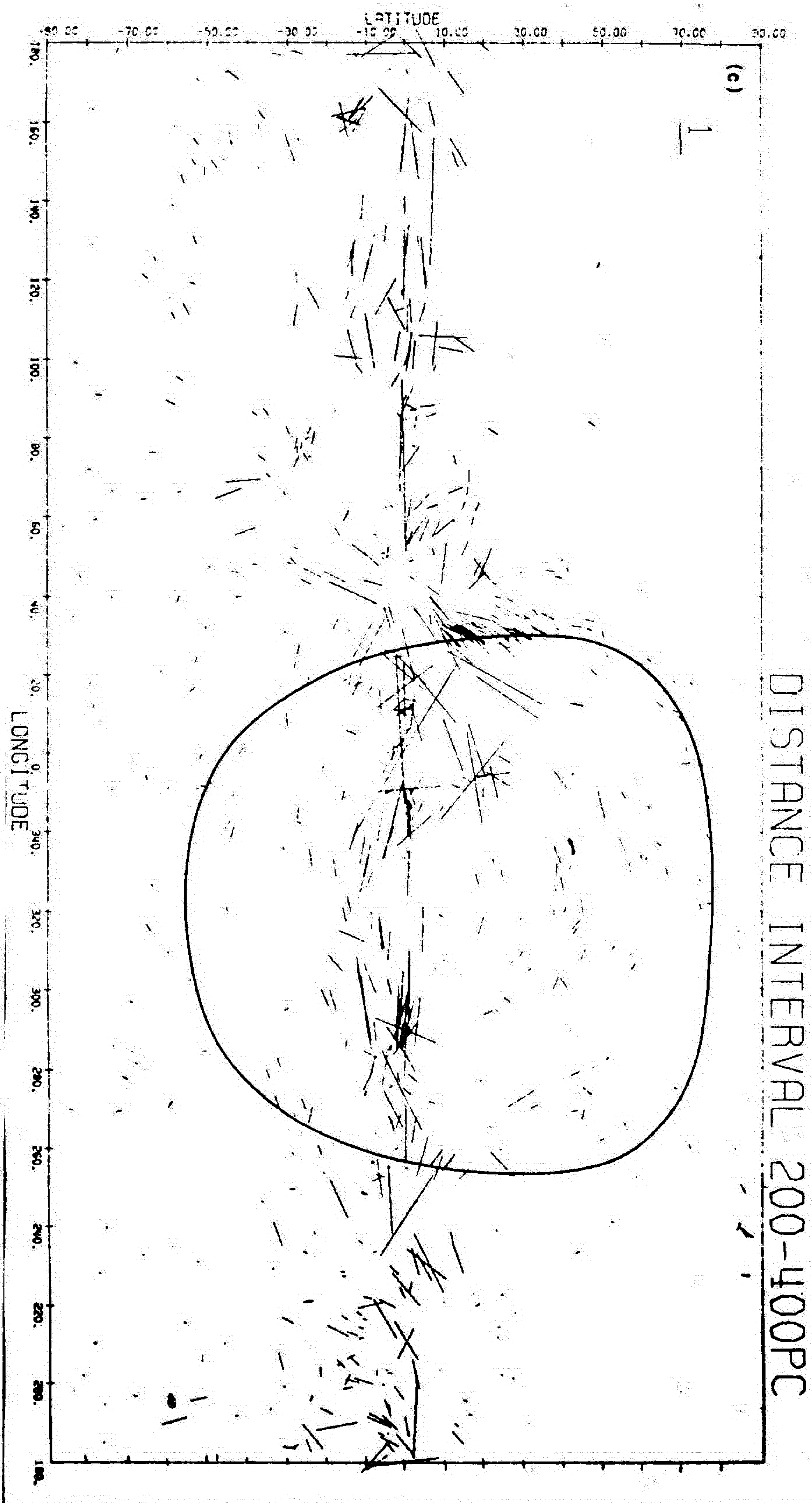


Slika 107. Novi mali krug Petlje I superponovan na raspodelu vektora optičke polarizacije svetlosti zvezda udaljenih 100 - 200 pc (stavovi: Aron and Petljica 1976).

DISTANCE INTERVAL 50-100PC



Slika 106. Novi mali krug Petlje I superponovan na raspodelu vektora optičke polarizacije svetlosti zvezda udaljenih 50 - 100 pc (izvor: Axon and Ellis 1976).



Slika 108. Novi mali krug Petlje I nanet na raspodelu vektora

optičke polarizacije svetlosti zvezda udaljenih

200 - 400 pc (izvor: Aron and Ellis 1976).

Merenja radio-polarizacije (e.g. Berkhuijsen 1971, Spoelstra 1972, Bingham 1966b) se odnose na oblast Severnog Polarnog Luka gde se svi krugovi skoro podudaraju, pa stoga ovi posmatrački rezultati ne mogu biti iskorišćeni za opredeljivanje u pogledu izbora krugova.

Poluprečnik novog kruga je 3° , tj. 14% veći od starog. Zbog toga će položaj reprezentativne tačke Petlje I na tzv. $\Sigma - D$ dijagramu biti samo malo pomeren na gore, pa stoga neće promeniti zaključke Berkhuijsenove (Berkhuijsen 1973), koja je taj dijagram sastavila za radio-petlje.

Promena položaja središta kruga Petlje I neće dovesti ni do promene zaključaka (Salter 1970, Berkhuijsen et al. 1971) u pogledu "odbegle" zvezde ζ Ophiuchi, kao mogućeg kandidata za člana dvojnog sistema u kome se možda desila eksplozija supernove, a koja je uticala na stvaranje Petlje I prema hipotezi Saltera (Salter 1970).

Ovde izračunati krugovi, kao i stari krug, veoma odudaraju od načina povezivanja koji su koristili Henberri-Braun, Tovmasian, Lardž, Gidiči i još nekoliko astronoma (Hanbury-Brown et al. 1960, Towmassian et al. 1962, Large et al. 1962, Guidice: 1971). Taj način, zasnovan na ideji da povećana emisija u nastavku Cen A predstavlja nezavisan greben, napušten je kada su posmatranja veće razdvojne moći pokazala da to shvatanje nije ispravno. Stoga ni poredjenje ovde računatih krugova sa tom starom idejom nema smisla.

Ovde računati krugovi i njihovo slaganje sa posmatranjima ne idu u prilog Sofjuovoj ideji (Sofue 1973, 1976, 1977), da lukovi, pa i Severni Polarni Luk, vode poreklo od oboda nastalog tokom udara galaktičkog spiralnog talasa gustine. Međutim, samo na osnovu slaganja opisanih ovde,

teško je razlučiti koja je od ostalih hipoteza (Berkhuijsen et al. 1971 and references therein, Kafatos and Morrison 1973, Weaver 1979), ispravnija, pogotovu što Viverova (Weaver 1979) i nije podrobno izložena do sada (juni 1982.). Sam Viver (Weaver 1976) smatra da ideje japanske škole (e.g. Sofue 1973, 1976, 1977, Sofue et al. 1974, 1976) u vezi sa lukovima nisu realne.

O ideji da je Severni Polarni Luk i lukovi uopšte odraz prisutnosti spiralnog magnetnog polja (e.g. Mathewson and Nicholls 1968) autor misli da je posledica slučajne koincidencije položaja Petlje I, II i III sa projekcijom helikoidalnih linija sila, s obzirom da merenja polarizacije radio-zračenja ne podupiru tu ideju. Ovde računati krugovi ne mogu biti presudni za nju više no druge informacije.

REFERENCE

- Abt, H.A.: 1979, *Astrophys. J.* 230, 485.
- Adgie, R. and Smith, F.G.: 1956, *Observatory* 76, 181.
- Alexander, J.K., Weber, R.R. and Stone, R.G.: 1967,
Astron. J. 72, 289.
- Alexander, J.K., Brown, L.W., Clark, T.A. and Stone, R.G.:
1970, *Astron. Astrophys.* 6, 476.
- Allen, C.W.: 1964, *Astrophysical Quantities*, The Athlone
Press, London.
- Allen, R.J., Baldwin, J.E. and Sancisi, R.: 1978, *Astron.*
Astrophys. 62, 397.
- Alter, G., Baláss, B. and Ruprecht, J. (ed.): 1970,
Catalogue of star clusters and associations,
Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Altenhoff, W.J., Downes, D., Goad, L., Maxwell, A. and
Rinehart, R.: 1970, *Astron. Astrophys. Suppl.* 1, 319.
- Anand, K.C., Daniel, R.R. and Stephens, S.A.: 1968, *Proc.*
Indian Acad. Sci. A 68, 219.
- Andrew, B.H.: 1966, *Monthly Notices Roy. Astron.*
Soc. 132, 79.
- Andrew, B.H.: 1969, *Monthly Notices Roy. Astron.*
Soc. 143, 17.
- Astronomical Ephemeris for the Year 1967*: 1965, Her
Majesty's stationery office, London.
- Axon, D.J. & Ellis, R.S.: 1976, *Monthly Notices Roy. Astron.*
Soc. 177, 499.

- Baars, J.W.M., Genzel, R., Pauliny-Toth, I.I.K. and Witzel, A.: 1977, *Astron.Astrophys.* 61, 99.
- Baars, J.W.M., Dickel, H.R. and Wendker, H.J.: 1978, *Astron.Astrophys.* 62, 13.
- Baldwin, J.E.: 1955, *Monthly Notices Roy.Astron.Soc.* 115, 690.
- Baldwin, J.E.: 1962, *J.Phys.Soc.Japan* 17, 173.
- Baldwin, J.E.: 1967, in H.van Woerden (ed.), *Radio Astronomy and the Galactic System*, IAU Symp. 31, Academic Press, London and New York, p.337.
- Baldwin, J.E.: 1976, in "The Structure and Content of the Galaxy and Galactic Gamma Rays", NASA CP-002, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, p.189.
- Baldwin, J.E.: 1979, private communication.
- Bečvař, A.: 1956, *Atlas Coeli*, Nakladatelstvo ČAV, Praha.
- Berkhuijsen, E.M.: 1971, *Astron.Astrophys.* 14, 359.
- Berkhuijsen, E.M.: 1972, *Astron.Astrophys.Suppl.* 5, 263.
- Berkhuijsen, E.M.: 1973, *Astron.Astrophys.* 24, 143.
- Berkhuijsen, E.M.: 1982, private communication.
- Berkhuijsen, E.M., Haslam, C.G.T. and Salter, C.J.: 1970, *Nature* 225, 364.
- Berkhuijsen, E.M., Haslam, C.G.T., Salter, C.J.: 1971, *Astron.Astrophys.* 14, 252.
- Bingham, R.G.: 1966a, Ph.D.Thesis University of Cambridge.
- Bingham, R.G.: 1966b, *Monthly Notices Roy.Astron.Soc.* 134, 327.

- Bingham, R.G.: 1967, Monthly Notices Roy. Astron. Soc.
137, 157.
- Blythe, J.H.: 1957, Monthly Notices Roy. Astron. Soc.
117, 652.
- Bolton, J.G. and Westfold, K.C.: 1951, Australian J. Sci.
Res. 4, 476.
- Bracewell, R.N.: 1965, The Fourier transform and its
application, McGraw-Hill, New York.
- Bracewell, R.N. and Roberts, J.A.: 1954, Australian J.
Phys. 7, 615.
- Brand, P.W.J.L. and Zealey, W.J.: 1975, Astron. Astrophys.
38, 363.
- Bridle, A.H.: 1967a, Ph. D. thesis, University of Cambridge.
- Bridle, A.H.: 1967b, Monthly Notices Roy. Astron. Soc.
136, 219.
- Bridle, A.H.: 1968, Monthly Notices Roy. Astron. Soc.
138, 251.
- Brindle, C., French, D.K. and Osborne, J.L.: 1978, Monthly
Notices Roy. Astron. Soc. 184, 283.
- Bulanov, S.V. and Dogiel, V.A.: 1974, Astrophys. Space
Sci. 29, 291.
- Bulanov, S.V. and Dogiel, V.A.: 1975, Proc. XIV Int.
Conference Cosmic Rays, 706.
- Bulanov, S.V., Syrovatskii, S.I. and Dogiel, V.A.: 1976,
Astrophys. Space Sci. 44, 255.

- Burke, B.F.: 1967, IAU Symposium No. 31, Radio Astronomy and the Galactic System, Ed. H. van Woerden, Academic Press, London and New York, p. 361.
- Burton, W.B.: 1976, Ann. Rev. Astron. Astrophys. 14, 277.
- Burton, W.B. and Gordon, M.A.: 1978, Astron. Astrophys. 63, 7.
- Cane, H.V.: 1975, Proc. Astron. Soc. Australia 2, 330.
- Cane, H.V. and Whitham, P.S.: 1977, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 179, 21.
- Cane, H.V.: 1978, Australian J. Phys. 31, 561.
- Cane, H.V.: Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 189, 465.
- Caswell, J.L.: 1976, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 177, 601.
- Caswell, J.L., Crowther, J.H. and Holden, D.J.: 1967, Mem. Roy. Astron. Soc. 72, 1.
- Cleary, M.N., Heiles, C. and Haslam, C.G.T.: 1979, Astron. Astrophys. Suppl. 36, 95.
- Conklin, E.K.: 1970, Ph. D. thesis, Stanford University.
- Conway, R.G., Kellerman, K.I. and Long, R.J.: 1963, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 125, 261.
- Costain, C.H.: 1960, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 120, 248.
- Costain, C.H.: 1976, private communication.
- Costain, C.H. and Smith, F.G.: 1960, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 121, 405.

- Davies, R.D.: 1964, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 128, 173.
- De Ann, I: 1980, Astrophys. J. 239, 316.
- Dicke, R.H.: 1946, Rev.Sci. Instr. 17, 268.
- Dickel, H.R., Wendker, H.J., and Bieritz, J.H.: 1970, in W.Becker and G. Contopoulos (eds.), The Spiral Structure of our Galaxy, IAU Symp. 38, D. Reidel Publ. Co. Dordrecht-Holland, p. 213.
- Dogiel, V.A., Bulanov, S.V. and Syrovatskii, S.I.: 1975, Proc. XIV Int. Conference Cosmic Rays, p. 700.
- Ekers, R.D. and Sancisi, R.: 1977, Astron.Astrophys. 54, 973.
- Elliot, K.H. and Meaburn, J.: 1973, Astrophys. Space Sci. 20, 111.
- Ellis, G.R.A.: 1963, Australian J. Phys. 16, 411.
- Ellis, G.R.A. and Hamilton, P.A.: 1964, Nature 204, 272.
- Ellis, G.R.A. and Hamilton, P.A.: 1966, Astrophys. J. 143, 227.
- Fejes, I. and Wesselius, P.R.: 1973, Astron. Astrphys. 24, 1.
- French, D.K. and Osborne, J.L.: 1976, Monthly Notices Roy. Astron.Soc. 177, 569.
- Georgelin, Y.M. and Georgelin, Y.P.: 1976, Astron. Astrophys. 49, 57.
- Getmantsev, G.G., Karavanov, V.S., Korobkov, Yu.S. and Tarasov, A.F.: 1968, Astron. Zh. 45, 936.
- Ginzburg, V.L.: 1979, in W.B. Burton (ed.), The Large-Scale Characteristics of the Galaxy, IAU Symp. 84, D.Reidel Publ. Co., Dordrecht:Holland, p.485.
- Ginzburg, V.L. and Syrovatskii, S.I.: 1965, Ann. Rev. Astron.Astrophys. 3, 297.

- Ginzburg, V.L. and Ptuskin, V.S.: 1976, Rev.Mod.Phys. 48, 161.
- Guidice, D.: 1971, Air Force Cambridge Research Laboratories, 71-0170, Project 4643, Environmental Res.Papers, No.349.
- Graham, D.A., Haslam, C.G.T., Salter, C.J. and Wilson, W. W.: 1981, Astron.Astrophys.
- Grahl, B.H.: 1958, Z.Astrophys. 45, 49.
- Green, A.J.: 1972, Ph.D.Thesis, University of Sydney.
- Hamilton, P.A. and Haynes, P.F.: 1968, Australian J. Phys. 21, 895.
- Hanbury Brown, R. and Hazard, C.: 1960, Observatory, 80, 137.
- Hanbury Brown, R., Davies, R.D. and Hazard, C.: 1960, Observatory 80, 191.
- Haslam, C.G.T.: 1962, Ph.D.Thesis, University of Manchester.
- Haslam, C.G.T.: 1975, private communication.
- Haslam, C.G.T. and Salter, C.J.: 1967, Special Compiler NOD2, Internal Report, University of Manchester.
- Haslam, C.G.T. and Salter, C.J.: 1978, private communication.
- Haslam, C.G.T., Large, M.I. and Quigley, M.J.S.: 1964, Monthly Notices Roy.Astron.Soc. 127, 273.
- Haslam, C.G.T., Quigley, M.J.S. and Salter, C.J.: 1970, Monthly Notices Roy.Astron.Soc. 147, 405.
- Haslam, C.G.T., Wilson, W.E., Graham, D.A. and Hunt, G.C.: 1974, Astron.Astrophys. Suppl. 13, 359.

- Haslam, C.G.T., Salter, C.J., Stoffel, H. and Wilson, W.E.:
1982, *Astron. Astrophys. Suppl.* 47, 1.
- Heiles, C.: 1975, *Astron. Astrophys. Suppl.* 20, 37.
- Heiles, C.: 1976a, *Astrophys. J.* 208, L137.
- Heiles, C.: 1976b, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 14, 1.
- Heiles, C.: 1979, *Astrophys. J.* 229, 533.
- Heiles, C and Jenkins, E.B.: 1976, *Astron. Astrophys.*
46, 333.
- Heiles, C., You-Hua Chu, Reynolds, R.J., Yegengil, I.
and Troland, T.H.: 1980, *Astrophys. J.* 242, 533.
- Higdon, J.C.: 1979, *Astrophys. J.* 232, 113.
- Hirabayashi, H., Yokoi, H. and Morimoto, M.: 1972,
Nature Phys. Sci. 237, 54.
- Holden, D.J.: 1967, Ph.D. Thesis, University of Cambridge.
- Holden, D.J.: 1968, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*
141, 57.
- Holden, D.J.: 1969, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*
145, 67.
- Hornby, J.M.: 1966, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*
133, 213.
- Howell, T.F.: 1968, Ph.D. Thesis, University of
Cambridge.
- Howell, T.F.: 1970, *Astrophys. Letters* 6, 45.

- Hoyle, F. and Ellis, G.R.A.: 1963, Australian J. Phys. 16, 1.
- Hu, E.M.: 1981, Astrophys. J. 248, 119.
- IAU Quarterly Bulletin on Solar Activity, No. 157.
- IEEE, Radio spectrum utilization, print Technical Advisory Committee, 1965, New York.
- IRE: Standards on Radio Wave Propagation, Proc. IRE 30, No. 7, pt. III, Suppl., 1942.
- Ionospheric data, Slough, January 1967.
- Jackson, P.D. and Kerr, F.J.: 1971, Astrophys. J, 168, 29.
- Jones, B.B. and Finlay, E.A.: 1974, Australian J. Phys. 27, 687.
- Kafatos, M.C. and Morrison, P.: 1973, Astron. Astrophys. 26, 71.
- Kellerman, K.I.: 1974, in G.L. Verschuur and Kellerman, K.I. (ed.), "Galactic and Extra-galactic radio astronomy", Springer Verlag, New York, Ch. 12, p.340.
- Kenderdine, S.: 1963, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 126, 41.
- Kerr, F.J. and Westerhout, G.: 1965, in "Galactic Structure", Eds. A. Blaauw and M. Schmidt, Vol. V in the series: Stars and Stellar Systems, Univ. of Chicago Press, Chicago, p.167.
- Komesaroff, M.M.: 1961, Australian J. Phys. 14, 515.
- Korobkov, Yu. S.: 1964, Izv. Vysshih Uchebnyh Zaved. Radiofiz. 7, 982.

- Kraus, J.D.: 1966, Radio Astronomy, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Kruit, P.C. van der: 1978, in E.M.Berkhuijsen and R. Wielebinski (eds.), Structure and Properties of Nearby Galaxies, IAU Symp. 77, p. 33, Reidel Publ. Co. Dordrecht.
- Kruit, P.C. van der and Allen, R.J.: 1976, Ann. Rev. Astron. Astrophys. 14, 417.
- Krymkin, V.V.: 1978, Astrophys. Space Sci. 54, 187.
- Landecker, T.L.: 1969, Ph.D. Thesis, University of Sydney
- Landecker, T.L.: 1974, private communication.
- Landecker, T.L. & Wielebinski, R.: 1969, Proc. Astron. Soc. Australia 1, 210.
- Landecker, T.L. and Wielebinski, R.: 1970, Australian J. Phys. Suppl. No. 16, 1.
- Large, M.I., Mathewson, D.S. and Haslam, C.G.T.: 1961, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 123, 123.
- Large, M.I., Quigley, M.J.S. and Haslam, C.G.T.: 1962, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 124, 405.
- Large, M.I., Quigley, M.J.S. and Haslam, C.G.T.: 1966, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 131, 335.
- Lin, C.C.: 1970, in C. de Jager (ed.), Highlights of astronomy, 2, Reidel Publ. Co. Dordrecht, p. 88.
- Lin, C.C., Yuan, C. and Shu, F.H.: 1969, Astrophys. J. 155, 721.
- Lindblad, P.O.: 1967, in H. van Woerden (ed.), Radio Astronomy and ^{the} Galactic System, IAU Symp. 31, Academic Press, London and New York, p. 143.
- Mathewson, D.S. and Milne, D.K.: 1965, Australian J. Phys. 18, 635.

- Mathewson, D.S. and Nicholls, D.C.: 1968, *Astrophys. J.*
154, L11.
- Mathewson, D.S. and Ford, V.L.: 1970, *Mem. Roy. Astron.*
Soc. 74, 139.
- Mathewson, D.S., Large, M.I. and Haslam, C.G.T.: 1960,
Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 120, 242.
- Mathewson, D.S., Healey, J.R. and Rome, J.M.: 1962,
Australian J. Phys. 15, 369.
- Mathewson, D.S., Broten, N.W. and Cole, D.J.: 1965,
Australian J. Phys. 18, 665.
- McGee, R. X., Murray, J. D. and Milton, J. A.: 1963,
Australian J. Phys. 16, 136.
- Mills, B. Y.: 1959, in R. N. Bracewell (ed.), *Paris*
Symposium on Radio Astronomy, IAU Symp. 9, Stanford
University Press, Stanford, p. 431.
- Milogradov-Turin, J.: 1970, *Publ. Department Astron. Univ.*
Beograd 2, 5.
- Milogradov-Turin, J.: 1971, *Publ. Department Astron. Univ.*
Beograd 3, 25.
- Milogradov-Turin, J.: 1972a, *Monthly Notices Roy. Astron.*
Soc. 157, 1P.
- Milogradov-Turin, J.: 1972b, *M. Sc. Thesis, University of*
Manchester.
- Milogradov-Turin, J.: 1974, *Mem. Soc. Astron. Ital.* 45, 85.
- Milogradov-Turin, J.: 1981, *Publ. Astron. Obs. Sarajevo*
1, 233.
- Milogradov-Turin, J.: 1982a, *Hvar Obs. Bull. Suppl.*, (in press).
- Milogradov-Turin, J.: 1982b, *Publ. Department Astron. Univ.*
Beograd, (in press).

- Milogradov-Turin, J.: 1982c, Hvar Obs. Bull. Suppl., (in press)
- Milogradov-Turin, J. and Smith, F.G.: 1973, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 161, 269.
- Milogradov-Turin, J. and Ninković, S.: 1979, Proc. III National Conference of Yugoslav Astronomers, p.133.
- Moran, M.: 1964, Ph.D.Thesis, University of Manchester.
- Ninković, S.: 1978, M.Sc.Thesis, University of Beograd.
- Novaco, J.C. and Brown, L.W.: 1978, Astrophys.J. 221, 114.
- Osterbrock, D.E.: 1974, Astrophysics of gaseous nebulae, Freeman and Co., San Francisco.
- Pacholczyk, A.G.: 1970, Radio Astrophysics, Freeman and Co., San Francisco.
- Parrish, A.: 1972, Astrophys.J. 174, 33.
- Parthasarathy, R.: 1968, Proc. Astron. Soc. Australia 1, 94.
- Pauliny-Toth, I.I.K. and Shakeshaft, J.R.: 1962, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 124, 61.
- Paul, J., Cassé, M. and Cesarsky, C.J.: 1976, Astrophys. J. 207, 62.
- Penzias, A.A. and Wilson, R.W.: 1965, Astrophys. J. 142, 419.
- Price, R.M.: 1974, Astron. Astrophys. 33, 33.
- Purton, C.R.: 1966a, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 133, 463.
- Purton, C.R.: 1966b, Ph.D. Thesis, University of Cambridge.
- Pugh, J.F.: 1964, Ph.D. Thesis, University of Cambridge.

- Quigley, M.J.S. and Haslam, C.G.T.: 1965, *Nature*,
208, 741.
- Ratcliffe, J.A. (ed.): 1960, *Physics of the Upper
Atmosphere*, Academic Press, New York and London.
- Reber, G.: 1968, *J. Franklin Inst.* 285, 1.
- Reddish, V.C.: 1967, *Nature* 213, 1107.
- Robson, E.I.: 1976, in M.Rowan-Robinson (ed.), *Far
Infrared Astronomy*, Pergamon Press, Oxford, p.115.
- Roger, R.S.: 1969, *Astrophys. J.* 155, 831.
- Rougoor, G.W.: 1966, *Astrophys. J.* 144, 852.
- Ryle, M. and Vonberg, D.D.: 1948, *Proc. Roy. Soc.
London, Ser.A* 193, 98.
- Salter, C.J.: 1970, Ph.D. Thesis, University of Manchester.
- Salter, C.J.: 1978, private communication.
- Salter, C.J.: 1981, private communication.
- Salter, C.J. and Felli, M.: 1973, *Astron.Astrophys.*
29, 129.
- Schwentek, H and Gruschwitz, E.H.: 1970, *J.
Atmospheric Terrest. Phys.* 32, 1385.
- Seeger, C.L., Westerhout, G. Conway, R.G. and Hoekema, T.:
1965, *Bull. Astron. Inst. Neth.* 18, 11.
- Shain, C.A.: 1959, in R.N.Bracewell (ed.), *Paris
Symposium on Radio Astronomy, IAU Symp.9, Stanford
University Press, Stanford*, p.451.
- Shain, C.A., Komesaroff, M.M. and Higgins, C.S.: 1961,
Australian J. Phys. 14, 508.

- Shapirovsckaya, N. Ya.: 1978, Publ. Acad. Sci. USSS Inst. Space Res., Pr-422.
- Sharpless, S.: 1959, *Astrophys. J. Suppl.* 4, 257.
- Shklovsky, I.S.: 1970, *Supernovae*, John Wiley and Sons Ltd., London, New York, Sydney.
- Simard-Normandin, M. and Kronberg, P.P.: 1979, *Nature* 279, 115.
- Simon, A.J.B.: 1977, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 180, 429.
- Sironi, G.: 1974, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 166, 345.
- Sironi, G. and De Amici, G.: 1981, in G. Setti, Spada, G. and Wolfendale, A.W. (eds.), *Origin of cosmic rays*, IAU Symposium 94, Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland, p. 215.
- Sivan, J.P.: 1974, *Astron. Astrophys. Suppl.* 16, 163.
- Smith, F.G.: 1952, *J. Atmospheric Terrest. Phys.* 2, 350.
- Smith, F.G.: 1961a, *Proc. Inst. Elec. Engrs. London* 108 B, 201.
- Smith, F.G.: 1961b, *Nature* 191, 1381.
- Sofue, Y.: 1973, *Publ. Astron. Soc. Japan* 25, 207.
- Sofue, Y.: 1976, *Astron. Astrophys.* 48, 1.
- Sofue, Y.: 1977, *Astron. Astrophys.* 60, 327.
- Sofue, Y. and Reich, W.: 1979, *Astron. Astrophys. Suppl.* 38, 251.
- Sofue, Y.: Hamajima, K. and Fujimoto, M.: 1974, *Publ. Astron. Soc. Japan* 26, 399.
- Sofue, Y.; Fujimoto, M. and Tosa, M.: 1976, *Publ. Astron. Soc. Japan* 28, 317.

- Spitzer, L.Jr.: 1978, "Physical Processes in the Interstellar Medium", John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto.
- Spoelstra, T.A. Th.: 1971, Astron. Astrophys. 13, 237.
- Spoelstra, T.A. Th.: 1972, Astron. Astrophys. 21, 61.
- Strong, A.W.: 1977, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 181, 311.
- Suh, P.K.: 1976, Astron. Astrophys. 51, 417.
- Terman, F.E.: 1955, Electronic and radio engineering, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Tovmassian, G.M., Sanamian, V.A. and Aslanian, A.M.: 1962, Soobschenia Bjurakan Obs. 31, 53.
- Turtle, A.J. and Baldwin, J.E.: 1962, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 124, 459.
- Turtle, A.J., Pugh, J.F., Kenderdine, S. and Pauliny-Toth, I.I.K.: 1962, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 124, 297.
- Verschuur, G.L.: 1974, in Verschuur, G.L., and Kellermann, K., (ed.), Galactic and Extra-Galactic Radio Astronomy, Springer Verlag, New York.
- Vinjakin, E.N.: 1978, Astron. Zh., 55, 307.
- Warner, P.: 1979, private communication.
- Weaver, H.F.: 1976, private communication.
- Weaver, H.F.: 1979, IAU Symposium No. 84., p.295.
- Webster, A.S.: 1971, Ph. D. Thesis, University of Cambridge.

- Webster, A.S.: 1974, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 166, 355.
- Webster, A.S.: 1975, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 171, 243.
- Webster, A.S.: 1978, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 185, 507.
- Wendker, H.J.: 1970, Astron. Astrophys. 4, 378.
- Westerhout, G.: 1958, Bull. Astron. Inst. Neth. 14, 215.
- Westerhout, G.: 1967, in H. van Woerden (ed.), Radio Astronomy and the Galactic System, IAU Symp. 31, Academic Press, London and New York, p. 370.
- Wielebinski, R. and Shakeshaft, J.R.: 1964, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 128, 19.
- Williams, P.J.S., Kenderdine, S. and Baldwin, J.E.: 1966, Mem. Roy. Astron. Soc. 70, 53.
- Wilson, R.W.: 1963, Astrophys. J. 137, 1038.
- Wilson, W.E.: 1975, Ph.D. Thesis, University of Sydney.
- Yates, K.W. and Wielebinski, R.: 1966, Australian J. Phys. 19, 389.
- Yates, K.W., Wielebinski, R. and Landecker, T.L.: 1967, Australian J. Phys. 20, 595.
- Ziel van der, A.: 1955, Noise, Chapman and Hall Ltd., London.