



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	22 09 2009
ОРГАНИЗ.ЈЕД.	БФОЈ
0603	10/155

***Multifrekvenciona posmatranja jednog  
od najvećih ostataka supernovih u  
Lokalnoj Grupi Galaksija – LMC SNR  
J0450-709***

-master rad-

***Mentori:***

prof. dr Miroslav Filipović  
prof. dr Svetlana Lukić-Petrović

***Kandidat:***

Kristina Čajko

***Novi Sad, oktobar 2009.***

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	1
<b>2. ELEKTROMAGNETNO ZRAČENJE</b>	3
<b>2.1. Definicija elektromagnetnog polja</b>	3
<b>2.2. Uticaj Zemljine atmosfere na astronomska posmatranja</b>	4
<b>2.3. Mehanizmi i zakoni zračenja</b>	5
2.3.1. Štefan –Bolcmanov zakon	5
2.3.2. Vinov zakon pomeranja	6
<b>2.4. Netermalno i termalno zračenje iz SNR-sa</b>	8
2.4.1. Zračenje crnog tela	9
2.4.2. Radijativna rekombinacija	10
2.4.3. Zakočno zračenje i Inverzni Komptonov efekat	10
2.4.4. Sinhrotronsko zračenje	11
<b>2.5. Polarizacija talasa</b>	14
2.5.1. Stoksovi parametri	16
2.5.2. Kvazi-monohromatski talasi	18
2.5.3. Faradejeva rotacija	18
<b>3. SUPERNOVE</b>	20
<b>3.1. Šta su supernove (SN) i kako nastaju</b>	20
3.1.1. Podela SN	21
3.1.2. Klasifikacija ostatak supernovih	24
3.1.3. Međuzvezdana materija	26
3.1.4. Uticaj SNRs na međuzvezdanu materiju	27
<b>3.2. Faze kod SNRs</b>	28
<b>3.3. SNRs na optičkim frekvencijama</b>	30
<b>3.4. SNRs na X-zračnim frekvencijama</b>	30
<b>3.5. SNRs na ostalim frekvencijama</b>	32
<b>3.6. Magelanovi oblaci</b>	33
<b>4. DOSADAŠNJA POSMATRANJA SNR J0450-709</b>	37
<b>5. OBRADA PODATAKA</b>	39
<b>5.1. Posmatrački podaci</b>	39

<b>5.2. Miriad</b>	40
5.2.1. <i>Kalibracija primarnog i sekundarnog izvora</i>	41
5.2.2. <i>Dobijanje slike na 6 cm</i>	52
<b>6. REZULTATI I DISKUSIJA</b>	59
<b>7. ZAKLJUČAK</b>	66
<b>LITERATURA</b>	67
Biografija	
Ključna dokumentacijska informacija	

## 1. Uvod

Jedan od najintragantnijih događaja u Svemiru jesu eksplozije supernovih. Ono što karakteriše ovako spektakularan događaj jeste sama eksplozija, kao i količina energije koja se tom prilikom oslobodi. Upravo zbog toga, zbog te enormne količine sjaja kojom ta zvezda zablješti, takve pojave se mogu (uglavnom) uočiti i golim okom. U našoj Galaksiji supernove su posmatrane iz Zapadne Evrope, Kine, Japana i Koreje. Ovakva dešavanja prisutna su svega jednom na svakih 50 do 100 godina u našoj galaksiji.

Veliki broj podataka i informacija vezanih za ostatke supernovih dostupni su preko radio posmatranja. Radio astronomija je naučna disciplina koja istražuje nebeska tela i prostor koji se nalazi između njih koristeći radio-zračenje koje oni emituju. Idealno mesto za proučavanje ostataka supernovih su Magelanovi oblaci (*eng. Magellanic Clouds, MC*). Položaj i same koordinate Velikog Magelanovog oblaka (*eng. Large Magellanic Cloud, LMC*) vrlo su povoljne jer, osim što se Magelanov oblak nalazi bliže južnom polu, nalazi se i na "najhladnijem" delu radio neba, što znači da se mogu istraživati i detektovati radio-zračenja, neometano, od strane galaktičkog pozadinskog zračenja (Haynes i autori, 1991). SNRs (*supernova remnants*) zrače predominantno netermalno u radio domenu. Mills (1955) prvi detektuje LMC na frekvenciji od 85.5 MHz, Shain (1959) na 19.7 MHz (Haynes i autori, 1991), Mills & Little (1959) na 96.8 MHz i 158 MHz. Mathewson i Healey (1964) značajno doprinose svojim posmatranjima LMC na talasnim dužinama od 21cm (1400 MHz) i 73cm (400 MHz). Alvarez i autori (1987) na 45 MHz a Mountfort i autori (1987) na 2300 MHz (Filipović, [www.atnf.csiro.au/research/LVmeeting/magsys\\_pres/miroslav.pdf](http://www.atnf.csiro.au/research/LVmeeting/magsys_pres/miroslav.pdf)). LMC i SMC (*eng. Small Magellanic Cloud; Mali Magelanov Oblak*) su istraživani na niskim i na visokim radio-frekvencijama. Merenja na niskim frekvencijama utvrđuju radio-strukturu i ukupan radio-spektar Magelanovih oblaka na većim skalama (Haynes i autori, 1991), dok za individualne objekte u Magelanovim oblacima od značaja i važnosti jesu merenja na većim frekvencijama.

Predmet proučavanja ovog rada jeste jedan od najvećih ostataka supernovih SNR J0450-709 u Lokalnoj Grupi Galaksija.

Cilj ovog rada jeste da se prikaže multifrekvenciona analiza LMC SNR J0450-709. Najbolji pristup pri istraživanju ostataka supernovih jesu upravo multifrekvenciona istraživanja, a to podrazumeva i uključuje sagledavanje SNR u širokom opsegu talasnih dužina elektromagnetnog spektra. Ostaci supernovih vidljivi su u gama, X, optičkom delu spektra, a emituju i u radio kontinuumu. Takođe, neki ostaci supernovih emituju i u





infracrvenom delu spektra, jer SNR koja se širi zahvata na svom putu izvesnu količinu međuzvezdane prašine, koja se zagreva i do 50 – 100 K, dovoljno da rezultuje detekcije u infracrvenom delu spektra (Dickel & Milne, 1994). U radio domenu SNRs karakteriše uglavnom jaka polarizacija i emisija zračenja netermalnog porekla. U optičkom domenu na talasnim dužinama H $\alpha$ , [SII] i [OIII] uočavaju se morfološki detalji, kao što su struktura filamenata i simetričnost ljuske, što dalje potpomaže u klasifikaciji i identifikaciji SNR.

Analiza i obrada podataka ovog ostatka supernove zasnovane su na posmatranjima koja su vršena ATCA interferometrom (*Australia Telescope Compact Array*) 6. aprila 1997. godine. Teleskop je lociran u Kalguri (Culgoora) 25 km zapadno od grada Narabraj (Narrabri), u Novom Južnom Velsu (New South Wales) u Australiji.

Merenja obrađena u ovom radu rađena su isključivo u radio domenu. Radi potpunije slike o istraživanom objektu korišćena su istraživanja drugih naučnih grupa koji su istraživali ostatke supernovih na različitim talasnim dužinama elektromagnetnog spektra, gde se između ostalih ostataka supernovih pojavljuje i SNR J0450-709.

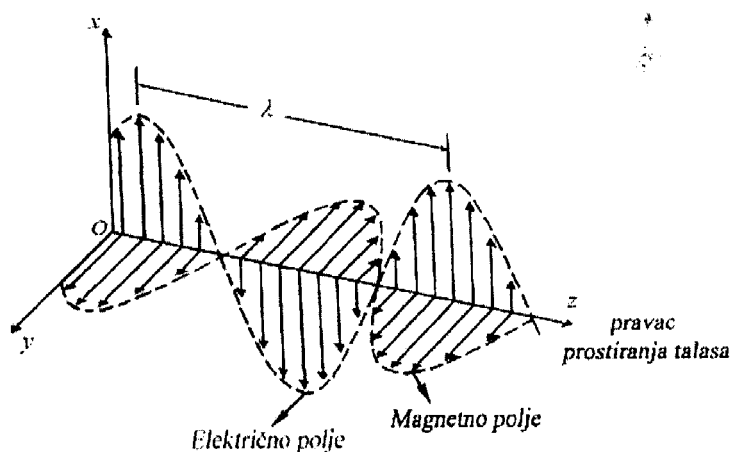
Kroz podatke dobijene ovakvim posmatranjima analizirane su i uočene mnoge karakteristike SNR J0450-709. Ovaj ostatak supernove ima ljuskastu morfologiju sa radio – spektralnim indeksom od  $\alpha = -0.43 \pm 0.06$  i izmerenim prečnikom od  $101.8 \times 75.2 \pm 1$  pc. Detektovan je u proseku prilično visok nivo polarizacije u maksimalnom iznosu od  $P \approx 40\%$ .

## 2. Elektromagnetno zračenje

### 2.1. Definicija elektromagnetnog polja

Opšte je poznato da je glavni izvor informacija o nebeskim telima njihovo elektromagnetno zračenje koje emituju u širokom opsegu talasnih dužina, od kratkih pa sve do dugih radio talasa. Na njegovoj analizi zasnovana su sva saznanja o raznim vrstama nebeskih tela. Analizirajući takvo zračenje stiče se uvid o njihovoj evoluciji, starosti, građi i oblicima materije. Fotometrija, polarimetrija i spektroskopija su tri osnovne astrofizičke metode, putem kojih se detaljnije meri i analizira elektromagnetno zračenje nebeskih tela i samim tim se određuje stanje materije. Saznanja o nebeskim telima se dobijaju posredno, tj. prijemom i analizom njihovog zračenja.

Elektromagnetno zračenje sastoji se od oscilujućeg električnog i magnetnog polja koja su usmerena tako da međusobno zaklapaju prav ugao, kao i u odnosu na pravac

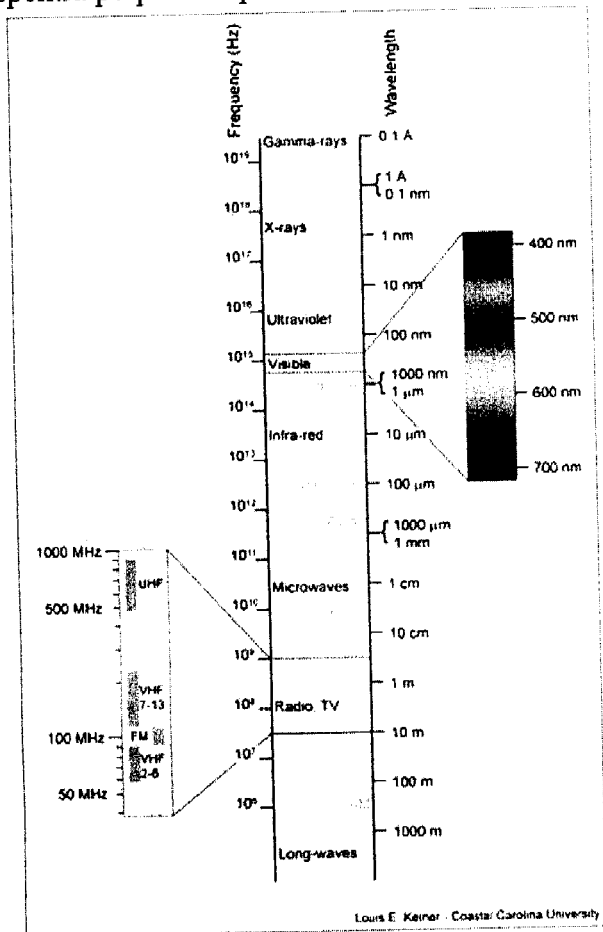


Slika 2.1. Pravac prostiranja električnog i magnetnog polja

prostiranja (Slika. 2.1) i zadržavaju takav međusobni položaj u toku kretanja. Takvo zračenje prostire se kroz vakuum brzinom svetlosti  $c$ . Elektromagnetno zračenje nastaje kao posledica ubrzanog kretanja naelektrisanih čestica (elektrona). Elektromagnetni talasi okarakterisani su talasnom dužinom  $\lambda$  i frekvencijom  $\nu$  koje su povezane sledećom relacijom  $\lambda\nu = c$ . Elektromagnetni spektar predstavlja raspodelu frekvencija (ili talasnih dužina) elektromagnetnog zračenja (Slika 2.2). Prostire se od veoma visokih frekvencija, kao što su gama zračenje, X-zračenje, ultraljubičasto (UV), vidljivo, infracrveno zračenje, pa do niskih frekvencija (veoma velikih talasnih dužina) radio talasa.

## 2.2. Uticaj Zemljine atmosfere na astronomska posmatranja

Zračenje koje dolazi sa posmatranog objekta prostire se pravolinijski sve do gornje granice Zemljine atmosfere. Prolaskom kroz atmosferu ono trpi niz promena usled nehomogenosti atmosfere, razlika u pritiscima i temperaturi. Prozirnost Zemljine atmosfere zavisi od talasne dužine upadnog zračenja. Zemljina atmosfera je za različite talasne dužine elektromagnetnog zračenja različito propustljiva, dok je za neke delove spektra potpuno neprozračna.



Slika 2.2. Elektromagnetni spektar

Zračenje kratkih talasnih dužina je najviše apsorbovano, dakle, to su gama, X i UV (*eng. ultraviolet*) zračenje. Ono je apsorbovano od strane molekula i atoma kiseonika i azota, a takođe je apsorbovano i od strane ozona. Bez obzira na to što se zračenja nebeskih tela u ovim spektralnim oblastima ne mogu izmeriti sa Zemlje, ta merenja se mogu uraditi van atmosfere. Utvrđeno je da je u vidljivoj oblasti elektromagnetnog spektra označenoj sa V (visible) prozirnost atmosfere je oko 80%. U infracrvenom delu spektra (IR, infrared), najveći deo zračenja je apsorbovan od strane vodene pare i ugljen-dioksida. Ovo zračenje je apsorbovano u donjim slojevima atmosfere. Veće talasne dužine 18-20 m odgovaraju radio talasima koji se reflektuju o jonosferske slojeve.

Međutim, posmatranja sa Zemlje mogu se vršiti kroz nekoliko uskih atmosferskih prozora. Atmosferski prozori (radio-prozor i optički prozor) su "trake" (wavebands) elektromagnetnog spektra koje prolaze kroz Zemljinu atmosferu bez, da se značajna apsorpcija ili refleksija desi od strane atmosferskih konstituenata.

**Radio prozor** propušta zračenje talasnih dužina od 3 milimetra do 30 metara (otprilike 300 GHz do 10 MHz).

**Optički prozor** obuhvata vidljivu svetlost u intervalu od 400 nm do 700 nm, a takođe ga još čini mali deo UV zračenja bliže optičom dijapazonu od 300 nm i deo infracrvenog zračenja kraćih talasnih dužina od  $20\mu\text{m}$ . Posmatranja na drugim talasnim dužinama onemogućava Zemljina atmosfera, stoga se postavljaju teleskopi van atmosfere, tj. u Zemljinu orbitu.

### 2.3. Mehanizmi i zakoni zračenja

Različiti procesi, kao što su sudari između čestica, skretanje naelektrisanih čestica u magnetnom polju, procesi ekscitacije, rekombinacije i anihilacije, mogu dovesti do emitovanja elektromagnetnog zračenja. Zračenje koje nastaje putem ovih procesa može biti termalno, kao posledica haotičnog kretanja atoma i naelektrisanih čestica, koje emituju sva tela na  $T > 0\text{ K}$  i netermalno koje se javlja usled promene brzine naelektrisanih čestica u magnetnom polju.

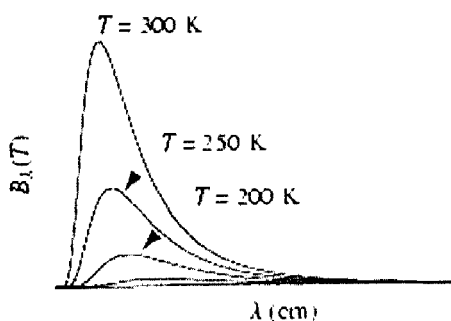
#### 2.3.1. Štefan-Bolcmanov zakon

Štefan Jožef (1879) eksperimentalno je našao da ukupna emisiona moć apsolutno crnog tela je proporcionalna četvrtom stepenu apsolutne temperature. Bolcman (1884) je koristeći rezultate Maksvelove teorije, dao teorijsku interpretaciju - ukupna količina energije koju izrača jedinica površine crnog tela u jedinici vremena u svim pravcima i na svim frekvencijama proporcionalna je četvrtom stepenu temperature. Shodno tome, može se napisati da je ukupni fluks zračenja  $F$  (u  $\text{Wm}^{-2}$ ) sa jedinice površine zračenja crnog tela dat relacijom (2.1):

$$F = \sigma T^4 \quad (2.1)$$

Ovde je  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$  Štefan-Bolcmanova konstanta.

2.3.2. Vinov zakon pomeranja



Slika 2.3. Funkcionalna zavisnost intenziteta zračenja apsolutno crnog tela od talasne dužine

Na slici 2.3. prikazana je funkcionalna zavisnost intenziteta zračenja apsolutno crnog tela od talasne dužine. Različite krive odgovaraju različitim temperaturama. Višoj temperaturi odgovara viši maksimum. Sa porastom temperature crnog tela maksimum energije se pomera ka kraćim talasnim dužinama. Talasna dužina, koja odgovara maksimalnoj energiji u spektru,

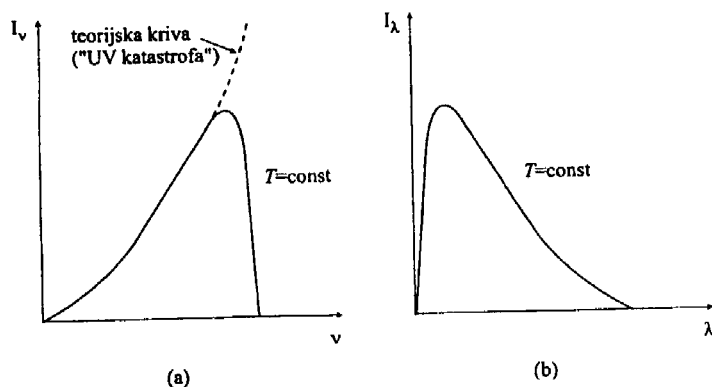
obrnuto je proporcionalna apsolutnoj temperaturi prema relaciji:

$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T} \quad (2.2)$$

Temperatura tela koja se određuje primenom Vinovog zakona naziva se **temperatura boje**. U oblasti malih talasnih dužina za spektralnu emisiju koristi se Vinova formula (2.3), dok je za visoke frekvencije neophodno primeniti Plankovu formulaciju o kojoj će dalje biti reči:

$$S(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \quad (2.3)$$

Eksperimenti koji su vršeni krajem XIX veka su pokazali su da funkcija  $I_\nu(T)$  ima oblik



Slika 2.4.a,b Eksperimentalna kriva zračenja tela temperature  $T$   
Vukićević - Karabin, Atanacković - Vukmanović, 2004

kao na slici 2.4. Eksperimentalna kriva se nije slagala sa današnjom teorijom zračenja. Merenja su pokazivala da u oblasti visokih frekvencija intenzitet naglo opada i teži nuli (Slika 2.4a). Teorijska kriva zračenja, dobijena na osnovu zakona klasične fizike:

$$I_\nu(T) = \frac{2\nu^2}{c^2} kT \quad (2.4)$$

pokazuje da sa porastom frekvencije, intenzitet zračenja raste (isprekidana linija). Ako se gornji izraz primeni na sve frekvencije, ukupna količina emitovane energije bi bila beskonačna - "ultravioletna katastrofa". Vin je 1896. godine predložio drugu formulu koja se dobro slagala sa eksperimentalnim rezultatima, u onoj oblasti spektra u kojoj je Rejli-Džinsova formula  $\rho_\nu d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT d\nu$  neprimenljiva.

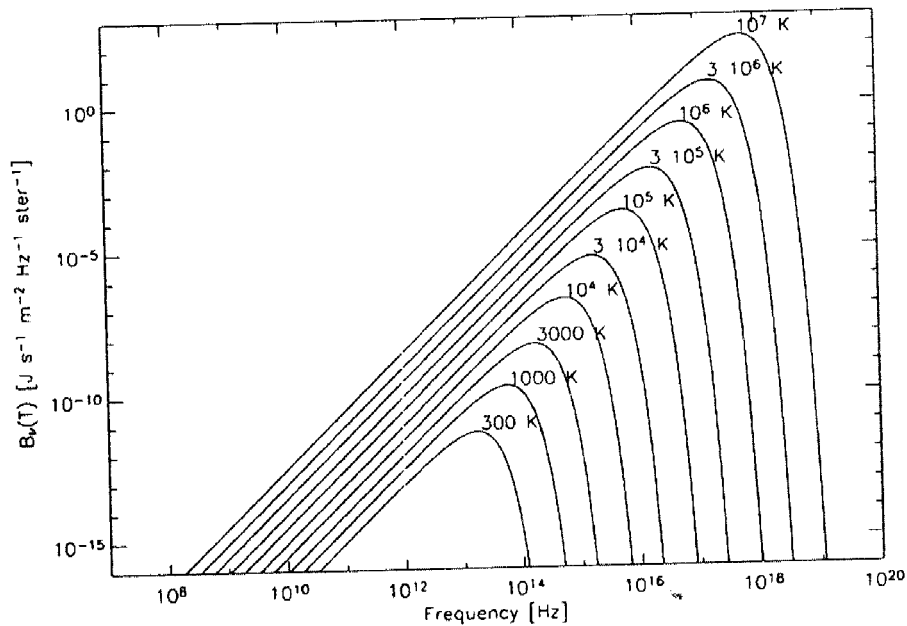
Rejli-Džinsova formula, koja se oslanja na klasičnu fiziku, dovodi do zaključka, što je u oštroj suprotnosti sa eksperimentom, da veći deo energije u spektru toplotnog zračenja leži u kratkotalasnom delu spektra. Vinova formula napisana za  $I_\lambda$  ima oblik kao jednačina (2.3), gde su  $c_1$  i  $c_2$  konstante. Da bi došao do ove formule, Vin je morao da napravi izvesne hipoteze o mehanizmu emitovanja zračenja, prema kojima raspodela zračenja po učestanostima treba da bude analogna Maksvelovoj raspodeli brzina među molekulima gasa. Međutim, Vinova formula je primenljiva samo za kratkotalasnu granu krive. Postojale su dve formule od kojih je svaka odgovarala eksperimentalnim podacima u ograničenom delu spektra, ali nijedna nije opisivala celu eksperimentalnu krivu.

Maks Plank je 1900. godine uveo pretpostavku koja je temelj kvantne teorije, po kojoj emitovana energija može imati samo diskretne vrednosti jednake celobrojnom umnošku elementarnih porcija, kvantata energije  $E = h\nu$ . Ova formula se dobro slagala sa eksperimentalnim podacima (za visoke frekvencije) i u dva granična slučaja u zavisnosti od talasnih dužina ona je prelazila u Rejli-Džinsovu ili Vinovu formulu. Plankov matematički izraz za frekvencije, koji odlično opisuje eksperimentalnu krivu raspodele energije po jediničnom frekventnom intervalu (2.5) ili po jediničnom intervalu talasnih dužina (2.6), ima sledeći oblik:

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} \quad (2.5)$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/k\lambda T) - 1} \quad (2.6)$$

To je Plankov zakon koji je fundamentalan za procese zračenja, ujedno i opisuje spektralnu raspodelu zračenja crnog tela u termodinamičkoj ravnoteži (Slika 2.5).



Slika 2.5. Plankova kriva za različite vrednosti temperatura

U oblasti zračenja niskih frekvencija  $h\nu \ll kT$ , Plankov zakon zračenja za niske frekvencije prelazi u klasični, tj. Rejli–Džinsov zakon  $I_\nu(T) = \frac{2kT}{c^2} \nu^2$ .

Ovaj zakon koristi se u radio astronomiji i bitno je istaći, kao važnu stavku, da je intenzitet radio zračenja na izvesnoj frekvenciji proporcionalan temperaturi apsolutno crnog tela, koji ima isti intenzitet zračenja na toj frekvenciji  $I_\nu = B_\nu(T)$ . U oblasti visokih frekvencija  $h\nu \gg kT$ , intenzitet zračenja apsolutno crnog tela nakon dostignutog maksimuma naglo opada sa porastom temperature:  $I_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)$  (ukoliko je  $\exp(x) \gg 1$ , ova relacija prelazi u Vinov zakon pomeranja).

#### 2.4. Netermalno i termalno zračenje iz SNR-sa

Radio izvori se mogu podeliti u dve kategorije i to oni izvori za čije zračenje su odgovorni mehanizmi termalnog zračenja i izvori za čije zračenje su odgovorni mehanizmi netermalnog zračenja. Kod termalnog zračenja razlikuje se zračenje crnog tela i zakočno zračenje (bremsstrahlung). Sa druge strane, kod netermalnog imamo sinhrotronsko zračenje ili magnetno bremsstrahlung.

Važni mehanizmi koji se javljaju kod SNRs su slobodno-vezani procesi, vezano-slobodni procesi, zakočno zračenje, inverzni Komptonov efekat i sinhrotronsko zračenje. Termalna komponenta zračenja kod SNRs potiče od zakočnog zračenja, jonizacije, sudara elektrona i jona i radijativnim zahvatom elektrona od strane jona. Raspodela elektrona kod termalne emisije zračenja opisana je sledećom relacijom:

$$N_e(v) \propto \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2kT}\right) \quad (2.7)$$

gde je  $N_e$  - broj elektrona,  $m_e$  - masa elektrona,  $v$  - brzina elektrona,  $k$  - Boltzmanova konstanta i  $T$  - temperatura u kelvinima. Termalna ravnoteža nastaje kada čestice imaju Maxwell-ovu raspodelu energije. Kod netermalnog zračenja raspodela čestica je izvan Maxwell-ove distribucije i opisana je stepenim zakonom.

Kod vangalaktičkih radio izvora dominantani su oni koji zrače netermalno, što proizilazi iz činjenice da su najintenzivniji emiteri netermalnog porekla. Primeri ovakvih vangalaktičkih izvora su galaksije sa aktivnim jezgrima (Active Galactic Nuclei, AGN) i kvazari.

#### 2.4.1. Zračenje crnog tela

Zračenje crnog tela je aproksimacija za gusta tela i količina radio talasa, koja pristižu sa ovakvih tela, zanemarljiva su. Rasprostrtim objektima, kojima na niskim frekvencijama sredina postaje optički gusta, aproksimacija crnog tela je dobra. Izvori koji zrače kao crna tela, a detektuju se u radio području jesu Sunce, Mesec, planete, mikrotalasno pozadinsko zračenje na temperaturi od 2.73 K. Rasprostrti objekti, koji su na niskim frekvencijama neprozračni, dobro su opisani Rejli-Džinsovim zakonom  $I_\nu(T) = \frac{2kT_b}{c^2} \nu^2$ , gde je  $I_\nu$  sjaj,  $k$  je Boltzmanova konstanta ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K),  $T_b$  je temperatura po sjaju,  $c$  je brzina svetlosti.

Orionova maglina (HII region), je optički gusta sredina ( $\tau \gg 1$ ) pri nižim frekvencijama (tada je temperatura po sjaju jednaka elektronskoj temperaturi) i spektar u toj oblasti je definisan Rejli-Džinsovim zakonom. Spektar Orionove nebule pokazuje zračenje termalnog porekla za frekvencije ispod 1GHz. Granična frekvencija, u odnosu na koju se povećavanjem frekvencije sredina postaje optički retka ( $\tau \ll 1$ ), definisana je na sledeći način:

$$\nu = 0.3045 T_e^{-0.643} (E M a(\nu, T))^{0.476} \quad (2.8)$$



gde je EM - mera emisije u pc/cm<sup>6</sup>, a T<sub>e</sub> - elektronska temperatura. U optički retkoj sredini HII region je skoro transparentan.

#### 2.4.2. Radijativna rekombinacija

Slobodno-vezani prelazi nastaju kada je elektron zahvaćen od strane atoma i kao posledica emituje se kvant svetlosti. Ovaj proces se još naziva radijativna rekombinacija, a suprotan je fotojonizaciji koja je vezano- slobodan proces.

#### 2.4.3. Zakočno zračenje i Inverzni Komptonov efekat

Ubrzavanjem ili usporavanjem naelektrisane čestice emituje se elektromagnetno zračenje snage  $P = 2e^2 \dot{v}^2 / 3c^3$  (Larmorova formula). Naelektrisane čestice mogu se ubrzati elektrostatičkim i magnetnim silama (sinhrotrono zračenje).

Zakočno zračenje nastaje kad se elektron kreće ubrzano ili usporeno u polju jona i predstavlja proces stvaranja termalnog zračenja. Sredina kroz koju ovo zračenje prolazi mora biti jonizovana i razređena. Takvo zračenje se još može nazvati slobodno-slobodno jer elektron ostaje 'slobodan' pre i posle interakcije sa jonom.

Netermalno zakočno zračenje je slično termalnom zakočnom zračenju ali potiče od elektrona koji ne podležu Maxwell-ovoj raspodeli.

Inverznim Komptonovim efekatom stvara se X-zračenje kada visokoenergeetski termalni elektroni ubrzani do relativističkih brzina intereaguju sa slabim fotonskim poljima. U takvoj interakciji elektron predaje deo svoje kinetičke energije niskoenergetskom fotonu, da bi se nakon interakcije fotonu povećala energija, odnosno, smanjila talasna dužina. Snaga koju izrači jedan elektron tokom inverznog Komptonovog efekta je

$$P = \frac{2}{3} \sigma_T \gamma^2 \beta^2 U_f \quad (2.9)$$

gde je  $\beta = v/c$ ,  $\gamma$  je Lorentz-ov faktor relativističkog elektrona i iznosi  $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ ,  $\sigma_T$

je Thompson-ov efikasni presek, a  $U_f$  je gustina energije fotonskog polja.

Termalno zračenje je nepolarizovano. Ravan galaksije je, osim netermalne komponente, izvor značajnog radio zračenja sa termalnim spektrom. Ova emisija potiče

od H II regiona i planetarnih nebula u našoj galaksiji i prouzrokovana je zakočnim (bremsstrahlung) zračenjem (De Horta, 2009).

#### 2.4.4. Sinhrotronsko zračenje

Iako se znalo za postojanje dva tipa izvora radio zračenja, odgovarajuće objašnjenje mehanizma (netermalnog zračenja) ovakvog zračenja bilo je dugo vremena nepoznato. I pored toga što su postojale pretpostavke koje bi ga objasnile, nijedna nije mogla da dá u potpunosti zadovoljavajuće objašnjenje. Rešenje problema objavljeno je 1950. godine u radovima Alfvena i Herlofson-a, kao i Kiepenheuera. Kada bi intenzivno radio zračenje bilo termalnog porekla, na niskim frekvencijama zahtevalo bi visoke temperature koje se ne očekuju u kosmičkoj plazmi.

Alfven i Herlofson su pretpostavili da intenzivni kosmički radio izvori zrače sinhrotronski. Njihovu ideju su razradili Šklovski i Ginzburg, pa je početkom pedesetih godina ustanovljeno da jaki lokalizovani kosmički radio izvori zrače netermalnim mehanizmom. Netermalno zračenje prvi put je detektovano u akceleratorima (uređaji koji ubrzavaju naelektrisane čestice koji su nazvani sinhrotroni). Sinhrotronsko zračenje dobilo je naziv po uređaju pomoću kojeg je prvi put zapaženo. Ovo zračenje se može javiti u raznim frekventnim oblastima.

SNR su jak izvor emisije sinhrotronskog zračenja koje je netermalnog porekla i koje je polarizovano. Spektar im je definisan zakonom  $S \propto \nu^\alpha$ , gde je S gustina fluksa posmatranog objekta,  $\nu$  je frekvencija na kojoj se posmatra, a  $\alpha$  je spektralni indeks (za netermalne SNR objekte  $\alpha$  je u opsegu od -0.35 pa do -1.5. Gustina fluksa je veličina koja karakteriše količinu radio zračenja pristiglog sa nekog objekta i zavisna je od rastojanja ( $1/r^2$ ), a definiše se kao:

$$S_\nu = \int_{\Omega_s} I_\nu(\theta, \varphi) \cos \theta d\Omega \quad (2.10)$$

gde je  $\Omega_s$  prostorni ugao izvora. Dimenzije su  $\text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$ . Međutim, pošto su jačine flukseva koje se primaju sa nekog objekata jako male, koristi se jedinica Janski<sup>††</sup> (eng. *Jansky*),  $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$ .

<sup>††</sup> Naziv je dobila po inženjeru Karlu Janskom, koji je na talasnoj dužini od 14.6 m otkrio slab ali stalan radio-šum iz pravca centra naše galaksije. Zbog njegovog doprinosa radio astronomiji, jedinica koja se koristi pri merenju primljene gustine radio-fluksa dobila je ime Janski.

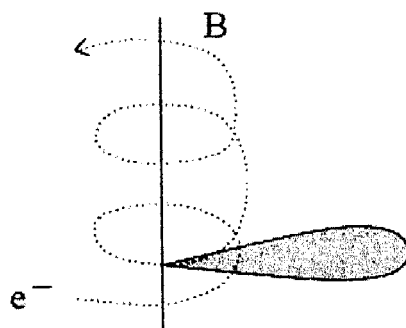
Izvori sinhrotronskog zračenja pored ostataka supernovih su pulsari, galaksije sa aktivnim jezgrima (Active Galactic Nuclei, AGN) i kvazari.

Elektroni su ubrzani elektromagnetnim silama do relativističkih brzina u jakom magnetnom polju. Kreću se po zakrivljenoj putanji učestalošću od  $\nu = eB/2\pi m$  ( $m$  je masa elektrona, a  $e$  njegovo naelektrisanje,  $B$  je gustina magnetnog fluksa). Ovakvim ubrzanim kretanjem elektrona po kružnoj putanji u magnetnom polju emituju se elektromagnetni talasi, stvara se magnetno zakočno zračenje. Magnetno polje menja pravac kretanja naelektrisanih čestica i kao rezultat promene pravca brzine čestica zrači.

U slučaju da je brzina kretanja elektrona mnogo manja od brzine svetlosti  $v \ll c$ , zračenje se zove ciklotronsko, a pri velikim brzinama kada je  $v \approx c$ , zračenje je sinhrotronsko.

**Ciklotronsko zračenje** nije izotropno, dvostruko veća snaga zračenja emitovana je u pravcu magnetnog polja. Polarizovano je.

**Sinhrotronsko zračenje** (Slika 2.6) nije izotropno, polarizovano je, a stepen polarizacije služi kao mera anizotropije magnetnog polja. Elektroni su ubrzani do relativističkih brzina i zrače u pravcu svoje trenutne brzine ( $\vec{v}_n$  - normalna komponenta) u vidu jako uskog snopa. Za magnetno polje jačine reda veličine  $10^4 G$  i velikim brzinama,



Slika 2.6. Kretanje naelektrisane čestice u magnetnom polju

sinhrotronsko zračenje doseže i do vidljivog dela spektra. Za manje brzine i slabija magnetna polja sinhrotronsko zračenje je u radio domenu. Osim SNR, ovaj mehanizam zračenja prisutan je i kod radio galaksija.

Sinhrotronska radio emisija SNRs ima stepenu zavisnost od frekvencije sa negativnim spektralnim indeksom  $\alpha$  ( $S \propto \nu^\alpha$ ), gde na nižim frekvencijama ima jaču emisiju zračenja. Termalna emisija koja potiče od H II regiona čini da oni imaju ravan spektar iznad frekvencije od 1 GHz. Ispod ove frekvencije optička sredina ima mnogo veću vrednost od jedinice i dolazi do preokreta gde sada vrednost spektralnog indeksa iznosi 2. Kontinualan spektar Galaktičkih objekata na niskim frekvencijama često se

koristi da bi se napravila razlika između termalnog i netermalnog izvora zračenja (Bhatnagar, 2001).

Na niskim frekvencijama sinhrotronsko zračenje može biti reapsorbovano pre nego što pobegne ili se emituje. Tada u spektru dolazi do preokreta, u smislu da pri povećanju frekvencije gustina fluksa opada. Slučaj kod Orionove magline, gde je preokret (usled reapsorbovanja) na frekvenciji od 1GHz, na višim frekvencijama nastaje optički retka sredina. Elektroni koji su odgovorni za stvaranje sinhrotronskog zračenja su, razume se, relativistički, pa su, shodno tome, prilikom opisivanja kretanja ovakvih čestica, neizbežne su Lorentz-ove transformacije, Makswell-ove jednačine, kao i Liénard-Wiechert-ovi potencijali.

Mogu se izdvojiti sledeće karakteristike sinhrotronskog zračenja:

- na niskim frekvencijama je intenzivno;
- spektar je kontinualan (ne pojavljuju se ni emisione ni apsorpcione linije u spektru);
- opstaje u vlaknima ljuski ostataka supernovih, tj. čestice i magnetno polje ostaju dugo vremena visoko kompresovani (Dickel & Milne, 1994);
- intenzitet i stepen polarizacije sinhrotronskog zračenja isključivo zavise od geometrije i jačine magnetnog polja sredine u kojoj se zračenje emituje;
- spektralni oblik krive ovakvog zračenja je nezavisan od geometrije i jačine magnetnog polja sredine u kojoj se zračenje emituje.

Sinhrotronsko zračenje koje potiče iz međuzvezdane sredine, koja poseduje homogeno magnetno polje, linearno je polarizovano, a stepen linearne polarizacije

$$p = \frac{\alpha - 1}{\alpha - 5/3}$$

je nezavisan od frekvencije. Opšte je poznato da sa povećanjem frekvencije gustina fluksa opada i da spektralni indeks emitera ovakvog zračenja, kao što su ostaci eksplozija supernovih zvezda, iznosi između  $-2.5 < \alpha < -0.5$ , što ukazuje na visok stepen polarizacije u intervalu od 84% do 70%. U slučaju nehomogenog magnetnog polja polarizacija ne postoji.

## 2.5. Polarizacija talasa

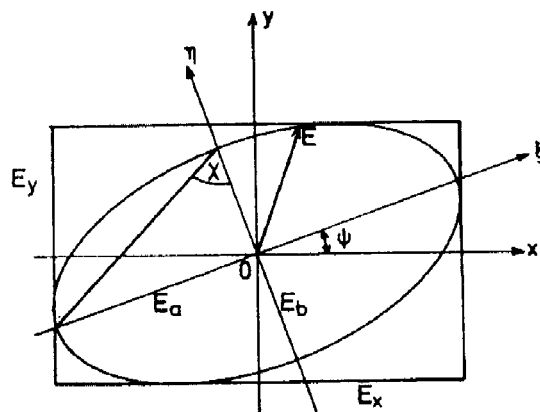
Polarizacija pruža saznanje o uticaju brojnih faktora na svetlost ili nekakvo drugo elektromagnetno zračenje sa nebeskog tela. Faktori koji utiču na EM zračenje mogu biti sledeći: rasejanje na česticama prašine, intenzivno zvezdano i međuzvezdano magnetno polje, refleksija itd. Radio zračenje može biti polarizovano i delimično polarizovano. Monohromatski talas je uvek polarizovan, dok kvazi-monohromatski ravni talasi su delimično polarizovani ili nepolarizovani. Opšte stanje polarizacije se može opisati takozvanim Stoksovim parametrima ( $I$ ,  $Q$ ,  $U$  i  $V$ ) koji su definisani tako da opisuju jedinstveno stanje polarizacije.

Kod monohromatskog talasa  $x$  i  $y$  komponente nisu nezavisne jer obe poseduju istu harmonijsku zavisnost, sa različitom početnom fazom. U dielektričnoj sredini ravni elektromagnetni talasi su transverzalni. Vrh električnog vektora krećući se po površini cilindra opisuje helikoidnu putanju. Talas je eliptično polarizovan i ovakva reprezentacija može da se primeni i za električno i magnetno polje (Slika 2.7).

Pointingov vektor  $S$  reprezentuje energiju fluksa elektromagnetnog polja i to na sledeći način  $S = E \times H$ ;  $E$  je vektor električnog polja, a  $H$  je vektor magnetnog polja. Ukupan Pointingov fluks ( $S$ ) polarizovanog talasa jednak je zbiru flukseva dve ortogonalne komponente koje su definisane u proizvoljno određenim pravcima i sledećeg je oblika:

$$S \equiv E_a^2 + E_b^2 = E_1^2 + E_2^2 \quad (2.11)$$

$E_1$  i  $E_2$  su električni vektori duž  $x$  i  $y$  ose dok su  $E_a$  i  $E_b$  su parametri polarizacione elipse duž  $\xi$  i  $\eta$  ose koordinatnog sistema koji se poklapa sa koordinatnim osama smeštenim duž velike i male poluose elipse (Slika 2.7).



Slika 2.7. Polarizaciona elipsa električnog vektora eliptično polarizovanog talasa (Rohlf's, 2009)

Sistem jednačina (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) omogućuje da se izračunaju svi značajni parametri koji opisuju polarizaciju:

$$\frac{E_1}{E_2} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.12)$$

$$\operatorname{tg} 2\psi = -\operatorname{tg} 2\alpha \cos \delta \quad (2.13)$$

$$\frac{E_a}{E_b} = \operatorname{tg} \chi \quad (2.14)$$

$$\sin 2\chi = \sin 2\alpha \sin \delta \quad (2.15)$$

Razlikuje se leva eliptična polarizacija i desna eliptična polarizacija. Znak fazne razlike  $\delta$  određuje pravac u kojem vektor električnog polja rotira. Ukoliko je  $\sin \delta > 0$ , onda je reč o desnoj eliptičnoj polarizaciji, u slučaju da je  $\sin \delta < 0$ , tada je leva eliptična polarizacija. Pod uslovom da je fazna razlika  $\delta = \delta_1 - \delta_2 = m\pi$ , gde je  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , polarizaciona elipsa se degeneriše u pravu liniju i tada je talas linearno polarizovan. Dakle eliptično polarizovan talas može se predstaviti superpozicijom dva ortogonalna linearno polarizovana talasa.

Takođe, postoji slučaj kada se polarizaciona elipsa može transformisati u krug i tada se dobija kružno polarizovan talas gde je  $E_1 = E_2 = E$ . Eliptično polarizovan talas može se predstaviti superpozicijom dva kružno polarizovana talasa. Slede desna polarizacija i leva polarizacija:

$$E_r = \frac{1}{2}(E_a + E_b) \quad (2.16)$$

$$E_l = \frac{1}{2}(E_a - E_b)$$

Tada je ukupan Pointingov fluks sledećeg oblika:

$$S \equiv E_a^2 + E_b^2 = E_r^2 + E_l^2 \quad (2.17)$$

Stanje polarizacije monohromatskog elektromagnetnog talasa može se predstaviti pomoću tri nezavisna parametra:

- amplitude  $E_1$  i  $E_2$ , relativna faza  $\delta$  dva ortogonalna, linearno polarizovana talasa;
- amplitude  $E_r$  i  $E_l$  i relativna faza  $\delta$  desno i levo kružno polarizovanih talasa;
- velika i mala poluosa  $E_a, E_b$ , i ugao polarizacione elipse  $\psi$ .





$$\begin{aligned}
 S &= I = E_a^2 + E_b^2 \\
 S_1 &= Q = S_0 \cos 2\chi \cos 2\psi \\
 S_2 &= U = S_0 \cos 2\chi \sin 2\psi \\
 S_3 &= V = S_0 \sin 2\chi
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

Stoksovi parametri mogu biti izraženi i preko parametara polarizacije elipse na sledeći način:

$$\begin{aligned}
 S &= I = E_1^2 + E_2^2 \\
 S_1 &= Q = E_1^2 - E_2^2 \\
 S_2 &= U = 2E_1E_2 \cos \delta \\
 S_3 &= V = 2E_1E_2 \sin \delta
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

Iz ovih jednačina (2.19), Stoksovi parametri mogu se izraziti preko veličina dobijenih iz posmatranja. S obzirom na to da su tri od četiri parametra nezavisni, važe sledeće relacije:  $S^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$  i  $I^2 = Q^2 + U^2 + V^2$ . To je uslov koji mora biti ispunjen za potpuno polarizovan talas. Uslov za nepolarizovan talas je da parametri imaju sledeće vrednosti  $Q = U = V = 0$ , a  $I = S$ . Specijalni slučajevi potpune polarizacije su leva kružna polarizacija, desna kružna polarizacija i linearna polarizacija. Za slučaj leve kružne polarizacije ( $E_1 = E_2, \delta = -\pi/2$ ), Stoksovi parametri imaju sledeće vrednosti:

$$\begin{aligned}
 I &= S \\
 Q &= 0 \\
 U &= 0 \\
 V &= -S
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

Za slučaj desne kružne polarizacije ( $E_1 = E_2, \delta = \pi/2$ ), Stoksovi parametri imaju sledeće vrednosti:

$$\begin{aligned}
 I &= 0 \\
 Q &= 0 \\
 U &= 0 \\
 V &= S
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Konačno, za slučaj linearne polarizacije ( $E_b = E, E_a = 0, \chi = 0$ ), Stoksovi parametri imaju vrednosti:



$$\begin{aligned}
 I &= S \\
 Q &= I \cos 2\psi \\
 U &= I \sin 2\psi \\
 V &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

### 2.5.2. Kvazi-monohromatski talasi

Kvazi-monohromatski talasi su ili nepolarizovani ili delimično polarizovani. Uslov, koji mora biti ispunjen kod kvazi-monohromatskih talasa, jeste to da srednja frekvencija samog signala  $\bar{\nu}$  mora biti veća od frekvencione širine signala  $\Delta\nu$ , tj.  $\frac{\Delta\nu}{\bar{\nu}} \ll 1$ .

Za delimično polarizovane talase važi sledeće:  $S^2 \geq S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$  i  $I^2 \geq Q^2 + U^2 + V^2$ . Stepen polarizacije se može izraziti preko Stoksovih parametara kao odnos polarizovane snage (polarized power) i ukupne snage:

$$d = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S}, \quad 0 \leq d \leq 1 \tag{2.23}$$

Stepen polarizacije ima vrednost jedan kada je talas potpuno polarizovan, a vrednost nula kada je talas potpuno nepolarizovan. Rezultujući talas koji nastaje superpozicijom međusobno nezavisnih talasa koji se prostiru u istom pravcu, ima vrednost Stoksovih parametara jednak sumi Stoksovih parametara individualnih talasa.

### 2.5.3. Faradejeva rotacija

Godine 1845. engleski fizičar Michael Faraday (1791-1867) prvi je opazio efekat u kojem se polarizacioni ugao svetlosti menja prilikom prolaska svetlosti kroz dielektrik na koji se deluje magnetnim poljem, koji ima isti pravac kao i pravac kretanja talasa. To je efekat u kojem je ravan polarizacije elektromagnetnog talasa pomerena usled uticaja magnetnog polja, koje je paralelno sa pravcem prostiranja talasa. Ovaj efekat se javlja kod radio talasa kada se prostiru kroz međuzvezdanu sredinu. Faradejeva rotacija ugla polarizacije se u astronomiji koristi za ispitivanje međuzvezdanog magnetnog polja. Posmatrajući takvo zračenje koje emituje neki objekat, recimo, pulsar, predstavlja vrlo značajan način za istraživanje galaktičkog magnetnog polja. Količina rotacije ili promena ugla polarizacije izražena je u radijanima. Ukupna promena ugla polarizacije iznosi:

$$\Delta\psi = 8.1 \times 10^5 \lambda^2 \int_0^L B_{\parallel}(z) N_e(z) dz \quad (2.24)$$

**Mera rotacije** (eng. *Rotation measure, RM*) definisana je sledećim izrazom:

$$RM = 8.1 \times 10^5 \int_0^L B_{\parallel} N_e dz = \frac{\Delta\psi_1 - \Delta\psi_2}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \quad (2.25)$$

$B_{\parallel}$  (u G) je paralelna komponenta magnetnog polja,  $N_e$  (u  $\text{cm}^3$ ) je koncentracija elektrona duž puta,  $L$  (u  $\text{pc}^{\dagger\dagger}$ ) je konačno rastojanje koje elektromagnetni talas pređe, a talasna dužina  $\lambda$  je u metrima. RM je izražena u  $\text{rad/m}^2$ .

---

$\dagger\dagger$  Parsek (pc) je jedna od fundamentalnih jedinica u astronomiji koje se koriste za obeležavanje rastojanja. Definisan je kao rastojanje na kojem bi zvezda imala paralaksu od  $1''$ . Po definiciji rastojanje do posmatranog objekta iznosi  $d = \frac{1}{p[']}[pc]$ .

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

### 3. Supernove

#### 3.1. Šta su supernove (SN) i kako nastaju?

Supernova je složena pojava koja nastaje eksplozijom zvezde. Jezgro zvezde je okruženo slojevima goriva koji su nastali procesima fuzije, koje sačinjavaju produkti različitih kasnih faza evolucije zvezda. Ovo gorivo može izgoreti vrlo brzo usled sažimanja ili kao posledica prolaska udarnog talasa u toku razvoja supernove. Izgaranje povećava unutrašnji pritisak zvezde koji dovodi do odbacivanja njenih spoljnih slojeva u okolni prostor. Tokom snažne eksplozije supernove dolazi do odbacivanja omotača koji se radijalno širi pri izuzetno velikim brzinama od oko približno 30 000 km/s. Ono što se može videti nakon eksplozije jeste ogromna količina gasa u obliku ljuske koja se širi velikim brzinama (ostatak supernove, supernova remnant - SNR) i jedan objekat koji potiče od jezgra primarne zvezde koja je eksplodirala (crna rupa ili neutronska zvezda).

Odbačen omotač, koji se sastoji od gasa, prašine i materije koja je sačinjavala zvezdu, biva vidljiv tokom narednih nekoliko desetina hiljada godina. Stariji ostaci supernovih vide se kao vlakna koja obrazuju svetle prstenove. Takođe, jaki su izvori radio i X-zračenja.

Razlikuju se dve vrste mehanizma koja su odgovorna za eksploziju supernovih: *termonuklearne eksplozije* i *urušavanje samog jezgra zvezde*. Prvi mehanizam je karakteristična pojava kod belih patuljaka, čije jezgro je degenerisano i pritom je potrebno da pređe tzv. Čandrasekarovu granicu. Čandrasekar je pokazao da beli patuljak može nastati samo ako je masa zvezde ili njenog ostatka manja od kritične vrednosti koja iznosi 1.4 mase Sunca, dakle, predstavlja jednu vrstu limita u masi. Beli patuljak je stabilan, međutim, ukoliko ima pratioca koji ima veću masu i ukoliko mu se dovoljno blizu približi, može doći do pretakanja mase sa pratioca na belog patuljka putem akrecionog diska. Degenerisan materijal u belom patuljku sadrži jezgra atoma kiseonika i atoma ugljenika, koji se zapale usled velikih pritisaka, a koji vladaju u samom centru jezgra, i usled ogromne količine mase koje primi preko akrecionog diska. Uzimajući u obzir i potpune termonuklearne nestabilnosti sledi razaranje zvezde. Prilikom eksplozije odbačen materijal sadrži poveću količinu radioaktivnog nikla koji kasnije radioaktivnim raspadima dolazi do kobalta, pa posle do gvožđa. Supernove ovog tipa najveći su izvor gvožđa u svemiru. Kada se nakon izvesnog vremena, usled fuzije hemijskih elemenata, u supermasivnoj zvezdi se stvori jezgro od gvožđa, dolazi do kolapsa zvezde i nastaje neutronska zvezda ili crna rupa, ako je početna masa zvezde bila izuzetno velika. Ukoliko se masa jezgra zvezde nalazi u intervalu između  $1.4M_{\odot} < M < 3M_{\odot}$  (gde je M masa

jezgra zvezde,  $M_{\odot}$  je jedna masa Sunca i iznosi  $1.9891 \times 10^{30}$  kg) nastaje neutronska zvezda, a ako ukoliko je masa jezgra zvezde  $M > 3M_{\odot}$  nastaje crna rupa. Jezgro od samog gvožđa nije više u stanju da termonuklearnim reakcijama u procesima fuzije generiše energiju, kojom bi se suprotstavljala gravitacionom sažimanju koje je stalno prisutno, osuđena je na potpun kolaps jezgra tj. urušavanje čitave zvezde.

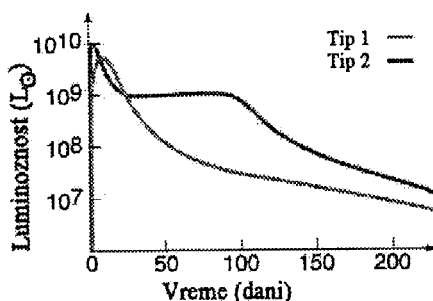
### 3.1.1. Podela SN

Posmatrački gledano svaka SN može biti klasifikovana na osnovu svoga spektra i krive sjaja. Na osnovu krive sjaja razlikuju se supernove tipa I i II. Osim krive sjaja SN, klasifikacija je izvršena i po spektralnim linijama. Krive sjaja supernovih predstavljaju zavisnost samog sjaja supernove od vremena. Zapravo pokazuju kako sjaj jedne supernove opada sa vremenom.

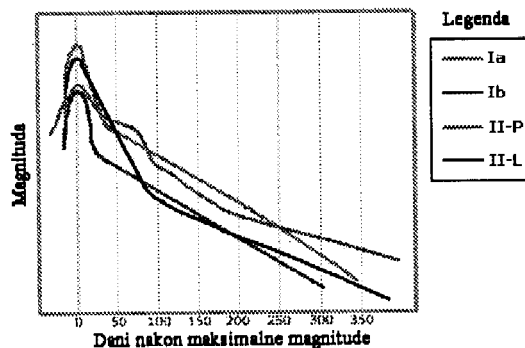
Sjaj supernove može da varira. Za samo nekoliko dana sjaj može da poraste i za 20 magnituda veličine. Nakon svog dostignutog maksimuma u sjaju postepen pad se očekuje i traje nekoliko godina.

Supernove tipa I karakteriše kriva sjaja koja postepeno opada eksponencijalno, dok kod tipa II pad krive sjaja je manje pravilan. Takođe je važno pomenuti spektre po kojima se može odrediti da li posmatrana supernova pripada tipu I ili tipu II (Slika 3.1). Supernove koje u svojim spektrima nemaju linije vodonika karakteristika su tipa I, dok supernove tipa II ih poseduju u svojim spektrima. Daljna, finija podela ovih tipova supernovih zasnovana je isključivo na detaljnoj analizi njihovih spektara u smislu utvrđivanja postojanja drugih hemijskih elemenata.

SN tipa I imaju podelu na SN Ia, Ib, Ic. SN tipa Ia u svojim spektrima odlikuju se



Slika 3.1. Krive sjaja SN tip I, tip II  
(<http://www.pas.rochester.edu/~afrank/A105/LectureXII/LectureXII.html>)

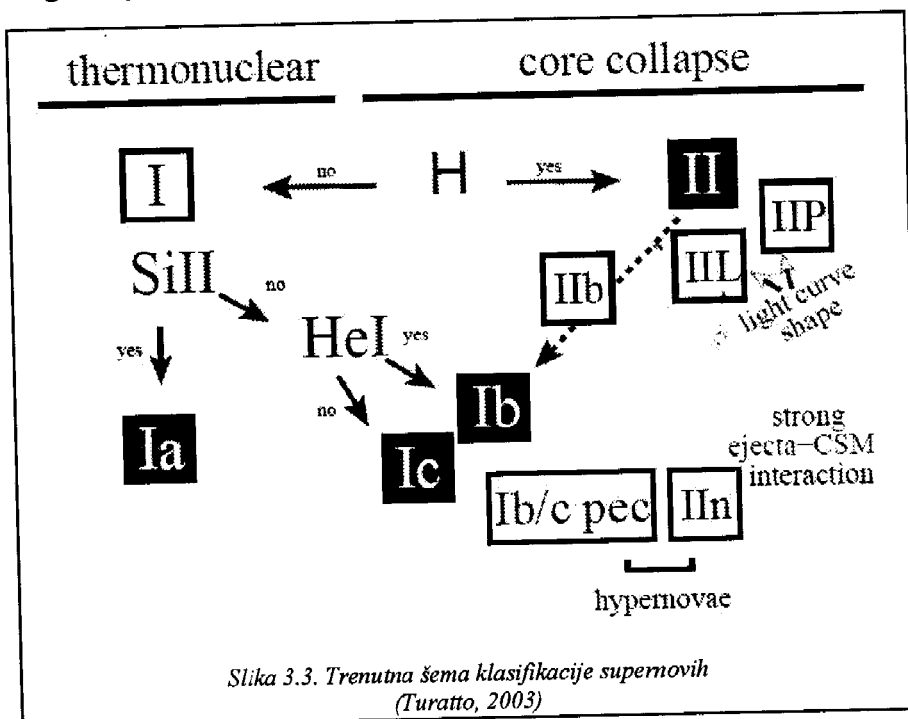


Slika 3.2. Krive sjaja SN tipa Ia, Ib, II-P, II-L  
(Badenes, 2005)

jakim linijama silicijuma. Javljaju se u spiralnim i eliptičnim galaksijama i imaju vrlo slične krive sjaja. Potiču iz dvojnih sistema, a nastaju u termonuklearnim eksplozijama.

SN tipa Ib i Ic bile su stavljene pod istu klasu zajedno sa Ia kao tip SN I sve do sredine osamdesetih kada su posmatranja supernovih 1983N, 1984L i 1985F ukazala na postojanje fizičkih razlika između njih i SN Ia (Turatto, 2003). SN tipa Ib i Ic karakteriše nedostatak linija H i SiII i prisustvo linija He I. SN Ic u svojim spektrima imaju slabe linije helijuma. SN tipa Ib/Ic su manje sjajnije od tipa Ia i svoj život završavaju urušavanjem samog jezgra supernove.

SN tipa II imaju podelu na tipove II-P, II-L, IIb. SN tipa II javljaju se u spiralnim granama galaksija i imaju različite krive sjaja. Različitosti u krivama sjaja verovatno se



Slika 3.3. Trenutna šema klasifikacije supernovih (Turatto, 2003)

javljaju usled raznolikosti u masama omotača koje zvezda odbaci sa sebe. Mehanizam eksplozije koji prati tip II je urušavanje samog jezgra supernove. Na slici 3.2. je dat prikaz krive sjaja različitih tipova i podtipova SN. Svetlosna kriva SN tipa II L (L-linear) ima linearna pad nakon dostignutog maksimuma u sjaju, dok kod SN tipa II P (P-plateau) vidljiv je plato na svetlosnoj krivi. SN II-P i SN II-L su glavni konstituenti SN II i često se nazivaju normalnim supernovama tipa II. Podklase su načinjene u skladu sa oblikom optičke svetlosne krive.

Tip supernove zavisi od toga i kada je posmatrana, naime novija istraživanja pokazuju da su ove podele možda netačne. Trenutna klasifikaciona šema prikazana je na Slici 3.3 i kao što je gore navedeno grupiše SN na osnovu posmatračkih karakteristika kao i na osnovu mehanizma nastanka.

Iako nije uobičajeno detektovane su linije He I ( $\lambda=10830 \text{ \AA}$ ) u spektru tipa Ic SN 1994I, zatim kod SN 1988L, SN 1990B i kod SN 1999cq. Broj neobičnih supernovih tipa II je grupisano u novu klasu koja nosi oznaku SN IIn, gde n označava prisutnost slabo vidljivih linija emisijonih linija u spektru. U spektrima ovih objekata dominantne su balmerove emisijske linije kao i emisijske linije He I. Ponekad su prisutne zabranjene linije [O I] i [O III] (nije poznato iz kojeg razloga), kao i linije visoko jonizovanih elemenata kao što su [Fe VII] i [Fe X] (Turatto, 2003).

Nekoliko objekata se ne uklapa u šemu prikazanoj na Slici 3.3. Na primer SN 1993R i možda SN 1990aj pokazuju odlike tipova Ia i Ib/c u kasnijim epohama. SN 2000er je, kao i prethodno navedene dve SN, klasifikovana kao „peculiar“ (Turatto, 2003).

Benetti i autori (2005) na osnovu fotometrijskih i spektroskopskih istraživanja na uzorku od 26 objekata identifikovali su tri podklase SN Ia sa različitim fizičkim odlikama gde je glavni kriterijum bio gradijent brzine ekspanzije fotosfere (Turatto, 2003). Razlikuju se:

- Faint (slabe) SN Ia čija luminoznost i brzina ekspanzije brzo opadaju sa vremenom (SN 1991bg)
- HVG (High Velocity Gradient) SN Ia
- LVG (Low Velocity Gradient) SN Ia (SN 1991T)

Poslednje dve grupe HVG i LVG uključuju sve normalne objekte, gde LVG uključuje sve svetle objekte i one sa polako opadajućim gradijentom brzine ekspanzije fotosfere.

SN 2006gy je detektovana blizu jezgra i iz tog razloga nije se sa sigurnošću moglo reći da li je to SN IIn ili AGN. Detaljnija posmatranja potvrđuju da se radi o SN odnosno objektu sa jedinstvenim karakteristikama: sporiji rast ka maksimumu (oko 70 dana) i sporiji pad nakon dostignutog maksimuma u sjaju. Izuzetno je svetao objekat čija magnituda dostiže vrednost od -22. Smith i autori pretpostavljaju da je nastala eksplozijom zvezde tipa LBV, kao što je  $\eta$  Carinae, sa početnom masom u intervalu između 100 - 150  $M_{\odot}$  (Turatto, 2007).

### 3.1.2. Klasifikacija ostataka supernovih

Klasifikacija ostataka supernovih se može izvršiti na sledeći način. Razlikuju se ostaci supernovih tipa I a to su: S (shell like) - ljuskasti ostaci, plerioni (filled center) - centralno ispunjeni ostaci i C (composite) – kompozitni. Ova podela SNR je zasnovana u skladu sa morfološkim karakteristikama na radio i X- talasnim dužinama. Kod ostataka supernovih tipa S u X i radio domenu filamenta su vidljivi u obliku sferne ljuske koja se

širi kroz MZM. U idealnom slučaju, kada je sredina uniformna, SNR će imati oblik sfere. Morfologija pleriona je određena prisustvom pulsara. Pulsar je taj koji kod SNR uzrokuje centralnu morfološku strukturu emisije X i radio zračenja. Centralno ispunjeni ostaci supernovih imaju izgled ljuske i netermalno centralno zračenje.

Rho & Petre definišu novu klasu SNRs koja nosi naziv mixed-morphology (MM) (ili composite). Kod ovih SNRs detektuje se termalna centralna emisija X-zračenja i ljuske SNRs su vidljive u radio domenu (Williams i autori, 2004).

Weiler i Sramek (1988) prave morfološku klasifikaciju SNR na bazi fizičkih karakteristika. U skladu sa tim razlikuju se ostaci supernovih tipa II: B (Balmer dominated) – gde su dominantne Balmerove linije<sup>§§</sup>, O (Oxygen rich) – bogate kiseonikom, P/C (plerionic/composite) - plerioni odnosno kompozitni i evoluirani ostaci. Primeri SNR za svaku klasu dati su u Tabeli 1.

Ostaci supernovih koji imaju izgled ljuske (S) ima najviše i čine 90 % svih SNRs. Uglavnom im je ljuska sfernog oblika i velika količina detektovanog zračenja stiže iz njegovih vlakana koje obrazuju samu ljusku. Luminoznost im zavisi od interakcije same ljuske sa međuzvezdanom materijom. Nemaju centralni izvor zračenja.

Plerioni u svom centru sadrže pulsar, dakle izvor zračenja, stim što detektovano zračenje potiče od celog ostatka supernove, a ne samo od centralnog pulsara. Zračenje koje potiče od ostatka supernove može se detektovati u različitim delovima elektromagnetnog spektra, na različitim frekvencijama.

PWN (Pulsar Wind Nebulae) je mehur od relativistički ubrzanih čestica, koji nastaje kada pulsarov vetar intereaguje se svojom okolinom. Imaju jasno definisan centralni izvor energije i jedan su od najsajnijih radio i X izvora zračenja u našoj galaksiji. Primer PWN je Crab koja sadrži u sebi pulsar sa periodom od 0,033 sekunde. To je brzo rotirajuća neutronska zvezda koja je nastala od eksplozije SN 1054. Centralni

---

<sup>§§</sup> Neutralan atom vodonika H I ima linijski spektar u kojem se razlikuju nekoliko grupisanih linija (serija).

Johann Balmer (1885) postojanje ovih serija opisao je matematičkom jednačinom  $\frac{1}{\lambda} = R_{\infty} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ ,

gde je  $\lambda$  talasna dužina linije u spektru,  $R_{\infty}$  je Ridbergova konstanta i iznosi  $1.09737 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ,  $n$  je glavni kvantni broj ( $n=1, 2, \dots, \infty$ ), a  $m$  je veće od 2. Balmerova serija se formira prelaskom elektrona sa druge orbite na više orbite. Kada se elektron ekscituje na viši energetski nivo i obrnuto prelaskom sa višeg na niže nivoe emituje se ili apsorbuje foton ili kvant svetlosti. U slučaju Balmerove serije elektron prelazi sa drugog energetskog nivoa na treći ( $n=2, m=3$ ), sa drugog na četvrti ( $n=2, m=4$ ), sa drugog na peti ( $n=2, m=5$ ) itd. ka višim nivoima, time se stvaraju spektralne linije. U prvom slučaju  $H_{\alpha}$  linija koja ima vrednost talasne dužine od 656.4 nm (pripada crvenom delu vidljivog spektra),  $H_{\beta}$  linija koja ima vrednost talasne dužine od 486.1 nm (u plavom delu spektra),  $H_{\gamma}$  je na 434.2 nm,  $H_{\delta}$  je na 410.2 nm.

pulsar generiše namagnetisan vetar kojeg čine ultrarelativistički elektroni i pozitroni koji emituju sinhrotronsko zračenje preko celog elektromagnetnog spektra (Gaensler & Slane, 2006).

Tabela1. Primeri SNRs u odgovarajućoj klasi

Naziv	Primer	Referenca
S - ljuskasti ostaci	N 103B (B0509-68.7)	<a href="http://www.astro.illinois.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/lmctable.html">http://www.astro.illinois.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/lmctable.html</a>
	SN 1006	Dyer, 2001
Plerioni - centralno ispunjeni ostaci	LMC B0509-6848	Filipović i autori, 1998a
C – kompozitni ostaci	CTB 80 (G 69.0+2.7)	Rho & Borkowski, 2002
	Vela (G 263.9-3.3)	Rho & Borkowski, 2002
MM - Mix-morphology	W28 (G 6.4-0.1)	Rho & Borkowski, 2002
	W44 (G 34.7-0.4)	Rho & Borkowski, 2002
	LMC B0532-71.0	<a href="http://www.astro.illinois.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/lmctable.html">http://www.astro.illinois.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/lmctable.html</a>
B – dominantne Balmerove linije	LMC B 0519-690	Dickel & Milne, 1994
	Kepler 1604 (G 4.5+6.8)	van den Bergh, 1988
O – bogate kiseonikom	Cas A (G 111.7-2.1)	van den Bergh, 1988
	LMC B0525-6941	Filipović i autori, 1998a
P/C - plerioni/kompozitni	G 326.3-1.8	Kassim i autori, 1993
Evoluirani ostaci	Vela	Dyer, 2001
	Cygnus Loop	Dyer, 2001
PWN - Pulsar Wind Nebulae	LMC B0453-68.5	Gaensler i autori 2003
	Crab nebula	Gaensler & Slane, 2006

Tokom poslednjih nekoliko decenija se, kako u našoj galaksiji tako i u MC, identifikovalo između 40 i 50 izvora sličnim Krab nebuli – takvi izvori poznati su pod nazivom PWNe. Kada je PWN okružen ljuskastim tipom ostatka supernove takav objekt se naziva kompozitnim. Nedostatak ljuske oko Crab nebule je prvenstveno zbog neinterakcije sa dovoljnom količinom gasa koji je okružuje (Gaensler & Slane, 2006).



### 3.1.3. Međuzvezdana materija

Međuzvezdana materija se proučava u radio i infracrvenoj astronomiji, jer materija zrači u ovom delu spektra. U njoj se rađaju zvezde, naelektrisane čestice se ovde ubrzavaju do fantastičnih brzina (kosmički zraci), na niskim temperaturama formiraju se džinovski molekuli i takođe postoje uslovi za procese koji se na Zemlji ne mogu ostvariti (zabranjeni prelazi). U MZM je detektovano, od strane IRAS-a (The Infrared Astronomical Satellite), postojanje prašinih tvorevina koje se ne mogu uočiti u optičkom delu spektra. Nazvani u infracrveni cirusi, jer podsećaju na oblake ciruse u Zemljinoj atmosferi. Ove tvorevine su vidljive samo u infracrvenom delu spektra, a ne i u optičkom, jer su vrlo hladne sa temperaturama od 15-30 K (Filipović, 2007).

Magline su lokalna zgušnjavanja međuzvezdane materije. One su nehomogene strukture, lako se uočavaju na nebu. Prema sjaju magline se mogu podeliti na tamne i svetle. **Svetle magline** su gušće oblasti MZM u koje su uronjene sjajne zvezde. Prema svom mehanizmu svetljenja dele se na refleksione i emisione. **Refleksione magline** okružuju zvezde koje nisu suviše tople, spektralnih klasa od B2 do M. Svetlost tih zvezda se rasejava na česticama prašine i kao posledicu toga imamo svetljenje ovih maglina i spektri ovih zvezda su slični spektrima zvezda koje okružuju. **Emisione magline** su topla komponenta MZM koja svetli na račun zvezda koje su u njima. Spektar ovih maglina je emisioni i razlikuje se od spektra zvezda u njoj. Prema poreklu se dele na *HII regione*, *planetarne magline* i *ostatke supernovih ili SNR (supernova remnant)*. (Vukićević - Karabin, Atanacković - Vukmanović, 2004).

**Tamne magline** su velika zgušnjavanja MZM. Koncentracije  $10^3 \text{ cm}^{-3}$ , hladne su  $T=10 \text{ K}$ . U njima nema sjajnih zvezda. Zbog velike koncentracije prašine ove magline blokiraju svetlost zvezda koje se nalaze iza njih, pa se vide kao oblasti bez zvezda različitih oblika. Što su nam bliže te magline to su tamnije. Teško se nalaze, ponekad se vide kao siluete spram svetlije magline ili jata zvezda u pozadini.

**Koronalni gas** predstavlja vrelu komponentu MZM i na nju otpada veoma mala količina ukupne mase MZM. Odlikuje se visokom temperaturom reda veličine  $3 \times 10^5 - 10^6 \text{ K}$  zbog čega je ovaj gas i jonizovan pa emituje UV i meko X zračenje koje zagreva okolinu i formiraju se tople oblasti HI koje se detektuju u radio domenu. Takođe je još značajno pomenuti vrlo nisku koncentraciju čestica ( $10^{-3}-10^{-2}$  čestica/cm<sup>3</sup>) i činjenicu da zauzima oko 50% zapremine spiralnih grana. Ispunjava kaverne (šupljine) za koje se smatra da su nastale kao posledica eksplozija ostataka supernovih ili zvezdanih vetrova.

### 3.1.4. Uticaj SNRs na međuzvezdanu materiju

Ostatak supernove (supernova remnant - SNR) čini gas, koji okružuje supernovu koja je eksplodirala, u obliku ljuske koji se širi. Taj gas sastoji se od materijala koji je odbacila supernova prilikom eksplozije i zahvaćenog međuzvezdanog gasa. Ostaci supernovih imaju nezanemarliv i izuzetno važan uticaj na međuzvezdanu materiju zbog toga što je bogate težim elementima i oslobađaju ogromne količine energiju tokom eksplozije. Udarni talasi (shock waves) koji nastaju u eksploziji SNRs zagrevaju i oblikuju međuzvezdanu materiju, te kompresuju magnetno polje i ubrzavaju kosmičke zrake. Izgled ljuske kružnog oblika često je narušen interakcijom i nehomogenim sastavom MZM. Dakle SNRs diktiraju ponašanje, sastav, morfologiju i evoluciju MZM, a isto tako je evolucija SNRs zavisna od okruženja u kojem se nalazi.

Materijal koji je sa sebe izbacila supernova rezultuje pojavljivanju udarnih talasa. Početni udarni tala koji zagreva, kompresuje i ubrzava čestice sredine kroz koju se prostire tj. medijum koji okružuje ostatak supernove i povrtni udarni talas koji takode zagreva, kompresuje i usporava čestice sredine kroz koju se prostire (Badenes, 2005). Udarni talas može se okarakterisati kao jedan diskontinuitet u fizičkim parametrima (temperatura, pritisak, gustina) materije (gas, tečno, čvrsto stanje) koja se kreće kroz neki medijum supersoničnim brzinama bez daljnih promena. Nastaje u jakim eksplozijama pri čemu dolazi do naglih promena u pritisku, temperaturi i gustini materije koja se kreće kroz određen medijum.

Udarni talas prostire se brzinama reda veličine nekoliko hiljada km/s i gubi energiju na taj način što greje medijum ili sredinu kroz koju prolazi do takvih temperatura da počne emitovanje X-zračenja (Badenes, 2005). Ostaci supernovih emituju i u optičkom delu spektra usled zagrevanja MZM udarnim talasima ali do temperature preniskim za X- zračenje (Dickel, & Milne, 1994). Udarni talasi mogu se javiti prilikom zemljotresa, prilikom susreta Sunčevog vetra sa Zemljinom magnetosferom i naravno prilikom eksplozije supernovih.

### 3.2. Faze kod SNRs

Evolucija SNR se odvija u četiri faze.

Prva faza se naziva **faza slobodnog širenja** gde ostatak se širi slobodno kao da međuzvezdana materija ne utiče na usporavanje udarnog talasa. Dinamikom u ovoj fazi diktiraju energetski uslovi eksplozije SN. Masa međuzvezdanog gasa kroz koju je talasni front prošao manja je od početne mase omotača koju je zvezda sa sebe odbacila:

$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_0 \leq M_p$ , gde je  $R$  - radijus zvezde,  $\rho_0$  - homogena gustina međuzvezdanog gasa,  $M_p$  - početna masa omotača eksplodirajuće zvezde. Radijus  $R$  se menja sa vremenom kao  $R \propto t$ . Ova faza može da traje od nekoliko desetina do 1000 godina. SN 1987A je primer faze slobodnog širenja.

Druga faza se zove **faza Sedova ili adijabatska faza**. Masa koju ima međuzvezdani gas kroz koji je talasni front prošao sada je mnogo veća od početne mase omotača koju je zvezda sa sebe odbacila. Gubici na zračenje su zanemarljivi u odnosu na količinu energije koju SNR poseduje. SNR se adijabatski širi što znači da energija biva očuvana unutar sistema i samim tim unutar SNR se formira vrela sredina gde je temperatura reda veličine  $10^6$  K. Radijus menja se sa vremenom po sledećoj zavisnosti  $R \propto t^{2/5}$ . Ostatak izlazi iz ove faze tek kada polovinu od svoje početne energije izgubi zračenjem. U ovoj fazi ostatak provede najviše vremena u toku svoje evolucije. Ova faza može da traje čak i do milion godina za ostatke koji se šire u retkoj sredini. LMC SNR 0453-68.5 je u fazi Sedova, starost se procenjuje na 13000 godina ([http://www.wastro.msfc.nasa.gov/Ch4/Ch4\\_03-10\\_Hendrick.pdf](http://www.wastro.msfc.nasa.gov/Ch4/Ch4_03-10_Hendrick.pdf)).

Treća faza zove se **radijativna faza ili izotermalna faza**. Energija unutar ovog sistema nije očuvana ali je očuvan impuls i radijus se menja sa vremenom kao  $R \propto t^{1/4}$ . Ostatak je star toliko koliko je karakteristično vreme hlađenja putem zračenja. U radijativnoj fazi SNR prvi put nakon eksplozije značajno zrači u vidljivom delu spektra. Ostatak supernove će ostati u ovoj fazi desetine hiljada godina sve dok ne izrači svu svoju energiju i brzina talasnog fronta ne padne ispod brzine zvuka za datu sredinu. Cygnus Loop i Vela su SNRs u radijativnoj fazi.

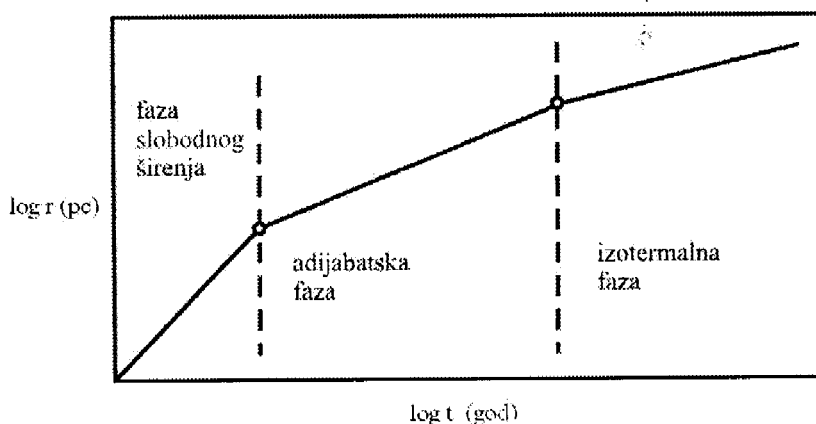
Četvrta faza se naziva **faza rasipanja**. Kada brzina talasnog fronta dostigne vrednost od 10 km/s tj. padne ispod brzine zvuka za datu sredinu nastupa faza rasipanja i u njoj ostatak se polako razgrađuje i stapa sa okolnom sredinom tj. međuzvezdanom sredinom. Ovo se dešava kada je  $t \approx 10^6$  godina. (K. Rohlfs, 2009.).

Na Slici 3.4. prikazano je kako se menja radijus ostatka sa vremenom, prolazeći kroz faze širenja SNR (Urošević, D. & Milogradov-Turin, J., 2007).

U gore opisanoj evolucionoj šemi ostataka supernovih bitno je istaći činjenicu da vremenski prelazi između ovih faza mogu potrajati koliko i same faze. Takođe, mogu postojati velike nehomogenosti u međuzvezdanoj sredini u kojoj se nalazi SNR što može prouzrokovati da jedan region ostatka supernove se različito razvija od ostalog dela SNR. Neki ostaci supernovih mogu imati regione koji su u fazi Sedova, dok ostali regioni su u radijativnoj fazi (Dyer, 2001).

Stvarni evoluciono tok SNRs može se razlikovati od teorijskog (gore navedenog) zbog sledećih razloga (De Horta, 2009):

- MZM u kojoj je SNR nastala retko je izotropna i homogena (gustina nije konstantna) što dovodi do asimetrije i različitosti u samoj SNR.
- Ukoliko eksplozija SN se odvija u već postojećem mehuru sačinjen od MZM koji je okružen masivnom ljuskom gasa, faza Sedova ne mora se uopšte dogoditi, a SNR se ne mora uopšte detektovati osim ako eksplozija ne udari u zidove ljuske.
- Ukoliko je gustina okruženja u kojem se nalazi SNR dovoljno mala, postoji mogućnost da SNR nestane stapajući se sa MZM pre nego što hlađenje bude od značaja.
- Unutar samog ostatka supernove različite evolucione faze se mogu simultano dešavati na različitim delovima SNR.
- Ako MZM poseduje jače magnetno polje, tada će se evolucioni put SNR razlikovati u smislu dužine pojedinih faza i sveobuhvatnog oblika ostatka supernove.



Slika 3.4. Promena radijusa ostatka sa vremenom

Urošević, Milogradov-Turin, 2007

### 3.3. SNRs na optičkim frekvencijama

Linije H, He I, [OII], [O III], [N II], [Ne III] i [S II] su nađene u spektrima SNRs koje su u radijativnoj fazi. Kada se SNRs ne mogu vizuelno identifikovati, koristi se odnos talasnih dužina [S II]/H $\alpha$  da bi ih razlikovali od H II regiona (Mathewson & Clarke, 1973). Kod SNRs odnos [S II]/H $\alpha$  je između 0.4-0.5, a kod H II regiona je između 0.1-0.3 (Dyer, 2001).

Fesen i autori (1985) smatraju da bi se još bolja razlika između SNRs i H II regiona napravila ukoliko bi se osim odnosa  $[S II]/H\alpha$  gledalo i prisustvo  $[O I]$ ,  $[O II]$  linija u spektru.

Odnosi intenziteta spektralnih linija su korisni jer daju informacije o SNRs kao i o njihovom okruženju u kojem se nalaze uključujući temperaturu i gustinu elektrona.

Spektri filamenata evoluiranih SNRs u rasponu od 3500-7500 Å pokazuju prisustvo jakih linija H,  $[O I]$ ,  $[O II]$ ,  $[O III]$ ,  $[S II]$  i  $[N II]$ , a prisutne su i nešto bleđe linije He I, He II,  $[O I]$ ,  $[N I]$ ,  $[Ne III]$ ,  $[Fe II]$ ,  $[Fe III]$ ,  $[Ca II]$  i  $[Ar III]$  (Fesen i autori, 1985). Proučavanje emisionih linija galaktičkih SNRs u optičkom delu spektra vrlo je korisno jer takvim istraživanjem je moguće da osim odnosa  $H\alpha/[S II]$  se postave dodatni kriterijumi za razlikovanje SNRs od HII regiona. Dodatni kriterijumi su proučavanje opsega emisionih linija karakterističnih za svaki ostatak i istraživanje da li postoje značajne evolucione promene kod SNRs u osobinama emitovanog zračenja (na optičkim talasnim dužinama) u funkciji prečnika SNRs (Fesen, 1985).

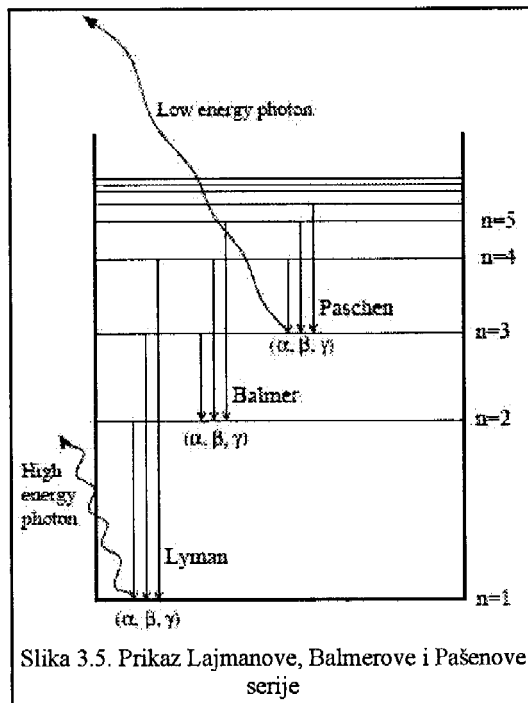
### 3.4. SNRs na X-zračnim frekvencijama

Energije X- zračenja posmatrane u ostacima supernovih kreću se od 0.1-10 keV, a potiču od jonizovanih elemenata. Radi lakšeg shvatanja nastanka X-zračenja, nastali jonizovani elementi mogu se posmatrati kroz modele atoma vodonika i helijuma. Atom vodonika je najjednostavniji i najbolje proučen element. Jednačina energija fotona opisana je sledećom relacijom:

$$\Delta E = 13.6Z^2 \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) eV \quad (3.1)$$

gde je  $Z$  atomski broj,  $n_i$  i  $n_f$  su početno i finalno stanje u atomu, a uz to nam pruža korisnu aproksimaciju za razumevanje i opisivanje emisije X- zračenja.

Da bi se jednostavno opisali prelazi elektrona u atomima uvodi se nomenklatura na sledeći način: emisione linije nastaju prelaska elektrona sa viših orbita na drugu orbitu u atomu. Lajmanova serija spektralnih linija (Slika 3.5) nastaje prelaskom elektrona na prvi energetski nivo (osnovno stanje  $n=1$ ).  $Ly_\alpha$  (gde je  $n=1$ ,  $m=2$ ),  $Ly_\beta$ ,  $Ly_\gamma$  pripadaju dalekom ultraljubičastom delu spektra, Balmerova serija nastaje prelaskom elektrona sa viših energetskih nivoa na drugi nivo, Pašenova serija nastaje prelaskom elektrona na treći energetski nivo. Tako na primer kod Si zapis  $Ly_\alpha$  znači da je jon Si (Si XIV), ima prelaz elektrona sa drugog na prvi energetski nivo ( $2p \rightarrow 1s$ ).



Emisione linije u spektrima ostataka supernovih nastaju kod sudara elektrona i jona. Prilikom sudara joni se ekscituju iz osnovnog u pobuđeno stanje gde se vraćanjem u osnovno stanje emituje foton X-zračenja. Posmatrane spektralne linije kod ostataka supernovih koje emituju X-zračenje su sledeće: Ni  $K\alpha^{***}$ , Fe  $K\alpha$ , Ca  $K\alpha$ , S  $K\beta$ , S  $K\alpha$ , Si  $K\gamma$ , Si  $K\beta$  i Si  $K\alpha$  (Dyer, 2001).

Veći deo materije u SNRs koji je talasnim frontom zagrejan vidljiv je na X-frekvencijama i ima temperaturu od  $10^6$  do  $10^7$  K. Prethodno se mislilo da mehanizmi zračenja se sastoje samo od zakočnog i linijskog zračenja, međutim poznato je da neki ostaci supernovih emituju sinhrotronsko X-zračenje koje

potiče od ultrarelativističkih elektrona kao što su PWN i ostataka sličnim Crab. SNRs koji su S tipa kao što je SN 1006 emituju sinhrotrono zračenje koje potiče od elektrona ubrzani od strane udarnog talasa (Vink, 2004).

SNRs vidljivi su na X-talasnim dužinama odmah nakon početne eksplozije (eksplozije SN) i ostaju tako nekoliko hiljada godina (Dyer, 2001).

### 3.5. SNRs na ostalim frekvencijama

Podaci sa posmatranja na UV i OP talasnim dužinama korisna su za utvrđivanje brzina talasnih frontova. UV emisija trpi ekstinkciju od strane čestica međuzvezdane prašine, a osim toga u Zemljinoj atmosferi UV zračenje je apsorbovano. Kao rezultat samo nekoliko SNRs detektovano je na UV talasnim dužinama kao što su Cygnus Loop i Crab nebula (Blair, 2001).

Veći deo zračenja od SNRs očekuje se da bude u infracrvenom području koje potiče od zagrejanih čestica prašine. Ostaci supernovih generalno se teško detektuju u infracrvenom delu elektromagnetnog spektra a naročito u ravni Galaksije jer su H II regioni mnogo svetliji (Williams i autori, 2006).

\*\*\* Prelazi sa viših orbitala na osnovnu orbitalu ( $n=1$ ) u atomu zove se K-prelaz, prelaz sa viših orbitala na drugu orbitalu u atomu ( $n=2$ ) L-prelaz i prelaz na treću orbitalu ( $n=3$ ) M-prelaz.

Infracrvene linije SNRs sastoje se uglavnom od osnovnih linija C i Ni uključujući linije O I, O II, O IV, Ne II, Ne III, S I, S III, S IV, Ar II, Ar III i Ar IV (Dyer, 2001).

IRAS (Infrared Astronomical Satellite) posmatranja galaktičkih SNRs otkrivaju da ostaci supernovih tokom većeg dela njihovog života se hlade pritom emitujući u IC delu spektra (Dwek & Rice, 1987).

Prašina može biti raspoređena na takva način da proučavanjem polarizacije se dobijaju informacije o položaju i snazi magnetnog polja blizu SNRs (Dyer, 2001).

Saken i autori (1992) ispitivanjem Galaktičkih SNRs detektovali su jasnu infracrvenu emisiju na osnovu IRAS podataka. Pronašli su da mlađi ostaci supernovih kao što su: Tycho, Kepler, Cas A i Crab imaju značajne vrednosti gustine fluksa na talasnim dužinama 12-25  $\mu\text{m}$ , dok starije poput Cygnus Loop i Vela su svetlije na talasnim dužinama od 60 – 100  $\mu\text{m}$  (De Horta, 2009).

Rho i Reach (2003) obrađuju posmatranja sa ISO i blisko IC zračenje većeg broja SNRs koje intereaguju sa molekularnim oblacima. Sa ISO (Infrared Space Observatory) teleskopom detektovane su linije [C II], [N II], [N III], [O I], [OII], [O III], [Si II], [P II] i [Fe II]. Detektovali su daleku infracrvenu emisiju molekula  $\text{H}_2\text{O}$ , OH i CO, što je i očekivano za sredinu u kojoj je vreo i gust gas reda veličine  $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Ovakvi regioni zagrejani su eksplozijom SN a hlade se emisijom infracrvenih linija [OII] na 63  $\mu\text{m}$  i [Si II] na 34.8  $\mu\text{m}$  (De Horta, 2009).

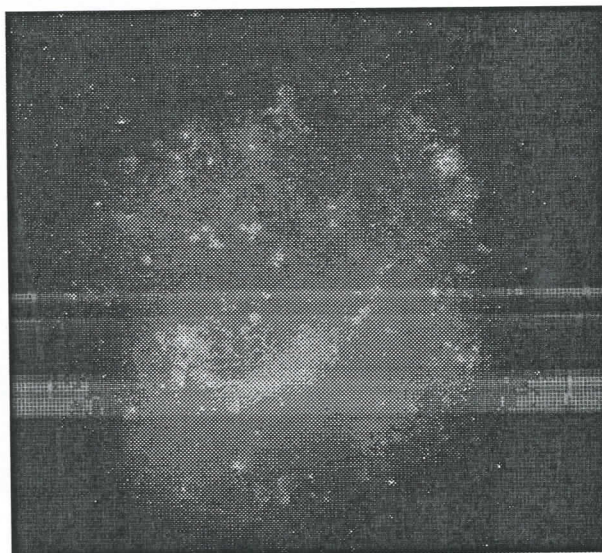
Glavni izvori identifikovanja novih SNRs jesu radio – kontinuum istraživanja. Deo onoga što ovakva proučavanja pružaju jesu informacije o morfologiji, linearnoj polarizaciji i vrednosti spektralnog indeksa. Sve ovo obeležja su SNRs. Postoji tehnika koja upoređuje radio mape snimljene Effelsberg radio teleskopom sa IRAS mapama na talasnim dužinama 60 i 100  $\mu\text{m}$ , koji imaju sličnu uglovnu rezoluciju. Ovaj metod baziran je na činjenici da je odnos gustine fluksa na IC prema radio talasnim dužinama kod H II regiona za jednu magnitudu jači nego kod SNRs (Reich, 2002).

Većina SNRs je u adijabatskoj fazi, spektralni indeksi im se kreću oko -0.5. Mlađi SNRs imaju strmiji spektar (-0.6 do -0.8) i radijalno usmerena magnetna polja. U adijabatskoj fazi vidljivi su izvesni efekti nastali usled interakcije SNRs sa magnetnim poljima. Na primer bi – simetrična morfologija i tangencijalno magnetno polje u ljuskama SNRs se koristi radi određivanja orijentacije međuzvezdanog magnetno polja. Studije emisije OH masera kod SNRs u adijabatskoj fazi ukazuju na manje kondenzacije kod ljusaka gde jačina magnetnog polja dostiže i do  $0.5 \times 10^3 \text{ G}$  (Reich, 2002).

U radijativnoj fazi ljuske SNRs su visoko kompresovane, a centralni deo ostataka je vreo i detektovan na X-talasnim dužinama. Morfologija filamenata vidljiva je u radio i optičkom domenu. (De Horta, 2009)

### 3.6. Magelanovi oblaci

Magelanovi oblaci su sateliti naše galaksije Mlečni put. Pripadaju Lokalnoj Grupi galaksija. Vidljivi su samo sa južne hemisfere jer su smešteni bliže južnom polu. Ferdinand Magellan je prvi evropljanin koji ih je otkrio 1519 godine. Za postojanje Magelanovih oblaka znali su Aboridžani, Maori i Južni Afrikanci mnogo pre nego što ih je F. Magellan otkrio. Magelanove oblake čine Veliki i Mali Magelanov oblak (*eng. Large Magellanic Cloud, LMC i Small Magellanic Cloud, SMC*, respektivno) koji se zajedno kreću oko naše galaksije (Slika 3.6. i Slika 3.7.). Veliki Magelanov oblak leži u

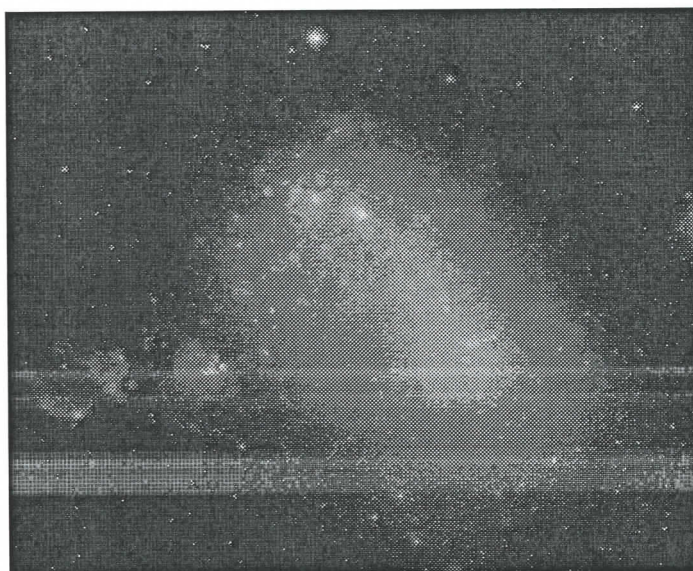


Slika 3.6. Veliki Magelanov Oblak  
MCELS

sazvežđu Dorado na rastojanju od oko  $5 \times 10^4$  pc i dok Mali Magelanov oblak leži u sazvežđu Toucan i udaljen je od nas  $6 \times 10^4$  pc (Hilditch i autori, 2005). LMC i SMC su obogaćeni zvezdama populacije I, i sadrže više gasa i MZM nego naša galaksija, što predstavlja idealne uslove za proučavanje HII regiona, ostataka supernovih, itd. LMC ima inklinaciju od  $35^\circ$  što je prihvatljiv stepen nagnutosti ravni diska LMC na ravan našeg posmatranja i smanjuje konfuziju posmatranja u samoj ravni posmatranja (van der Marel & Cioni 2001, Hughes i autori, 2007., Bojičić i autori, 2007).



J.R.Dickel i D.K. Milne (1975) proučavali su SNRs u našoj galaksiji posmatrajući ih na radio frekvencijama koristeći Parkes 64 m telescope. Nakon dvadeset godina svoje studije proširili su na LMC što implicira detaljnija proučavanja i poređenja karakteristika i osobina SNRs između ovih dvaju galaksija. Većina objekata u galaksiji Mlečni Put (Dickel, & Milne nisu precizirali koji su to objekti) je prvo detektovana radio posmatranjima. Neki od razloga jesu apsorpcija zračenja od strane međuzvezdane materije u samoj galaksiji, kao i činjenica da je emitovano elektromagnetno zračenje SNRs sinhrotronske

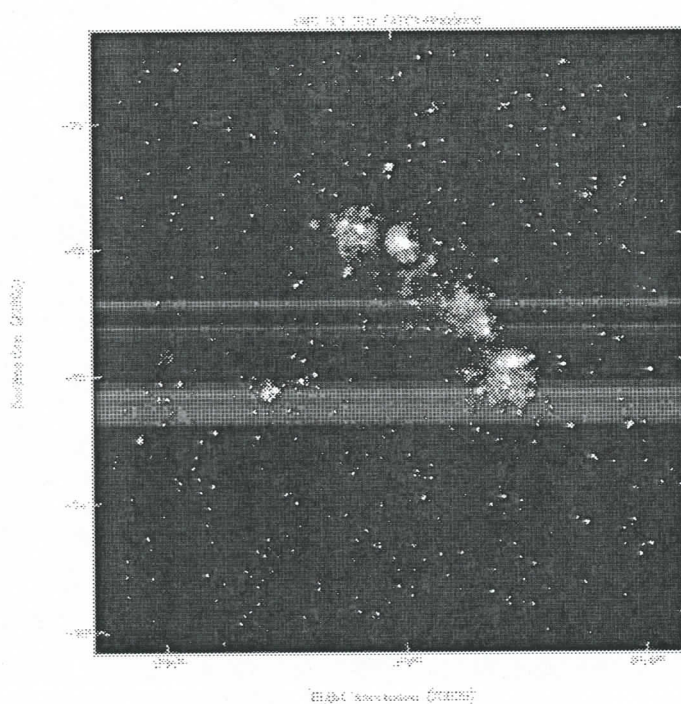


Slika 3.7. Mali Magelanov oblak  
MCELS

prirode koje zrači u radio kontinuumu (Dickel, & Milne, 1994). Istraživanja su pokazala da SNRs u LMC i SNRs u našoj galaksiji pokazuju slične osobine, uprkos razlikama između galaksija. LMC spada u grupu nepravilnih galaksija i sadrži veći udeo međuzvezdanog gasa i manji udeo težih elemenata (Dickel & Milne, 1994). Ono što je uslovalo takve karakteristike SNRs jeste po mnogim teorijskim modelima, svakako svojstvo MZM u kojoj je eksplodirala zvezda ili u kojoj se nalazi ostatak supernove. Pod svojstvima MZM podrazumevaju se promene u gustini, temperaturi, okruženja koje diktiraju razvoj i emisiju SNRs. Treba istaći činjenicu da je zbog visokog stepena međuzvezdane ekstinkcije (u optičkom i X- delu elektromagnetnog spektra) duž ravni Mlečnog puta kao i nesigurnosti u određivanju daljina do galaktičkih objekata, proučavanje galaktičkih SNRs dosta otežano. Za razliku od Mlečnog puta i drugih galaksija, Magelanovi oblaci se nalaze na istoj udaljenosti od nas i zbog toga izučavanje SNRs i HII regiona u MC ima više prednosti. Osim toga u prilog proučavanju SNRs u Magelanovim oblacima ide i to

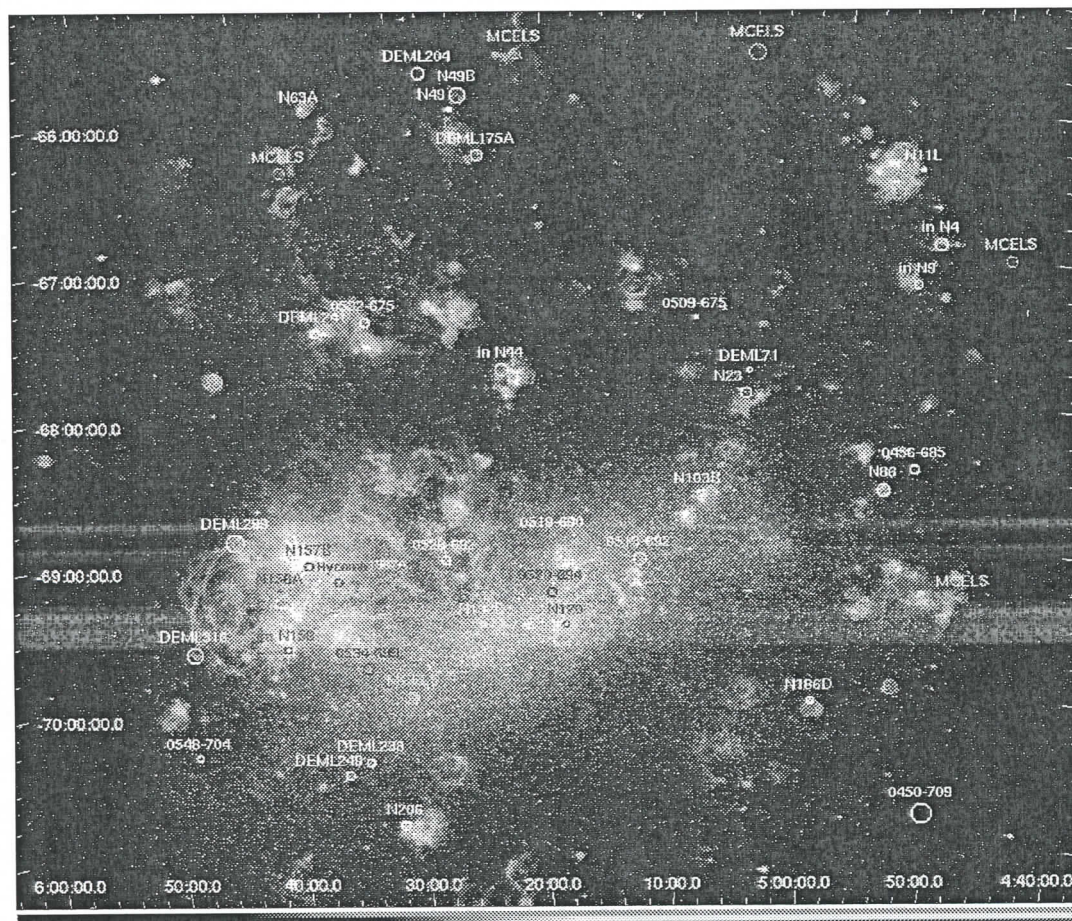
da su smešteni van galaktičke ravni, pa je uticaj gasa, prašine i okolnih zvezda znatno manji (Filipovic & Staveley-Smith, 1998).

Filipović i autori (1995; 1996; 1997) koristeći se Parks teleskopom oformili su katalog radio izvora u Magelanovim oblacima. Na tom projektu je barem na jednoj od (više) posmatranih frekvencija identifikovano ukupno 483 rado izvora ka LMC i 224 radio izvora ka SMC. Odatle je potvrđeno oko 60 SNRs i mogućih SNR kandidata u LMC i 20 u SMC (Filipović i autori 1998a). Na Slici 3.8. prikazan je SMC u radio-kontinuumu na 2.3 GHz ( $\lambda = 13\text{cm}$ ). Na Slici 3.9. prikazan je LMC sa objektima koji se nalaze u njemu.



Slika 3.8. Radio-kontinuum slika (Mosaic) SMC na 2.3 GHz ( $\lambda = 13\text{cm}$ )  
Miroslav D Filipović & Lister Staveley Smith, 1998c





Slika 3.9. Veliki Magelanov oblak, sa označenim objektima  
[http://www.astro.uiuc.edu/projects/atlas/lmc\\_snr\\_pgs/optlmc\\_snr\\_lg.jpg](http://www.astro.uiuc.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/optlmc_snr_lg.jpg)

#### 4. Dosadašnja posmatranja SNR J0450-709

LMC SNR J0450-709 jedan je od najvećih ostataka supernovih u Velikom Magelanovom oblaku (Mathewson i autori, 1985, Williams i autori, 2004). Identifikovan je kao ostatak supernove prvi put od strane Mathewson i autora (1985) na osnovu posmatranja u optičkom  $H_{\alpha}$  i MOST surveys (Molonglo Observatory Synthesis Telescope) pri čemu uglovni dijametar iznosi  $390'' \times 280.8''$  ( $94.6 \times 68$  pc, uzeto je rastojanje od 50kpc). McGee i autori (1972) su posmatranjima na 6 cm talasne dužine klasifikovali ga u svom MC katalogu kao MC11, u Parkes-ovom katalogu nosi oznaku PKS B0450-709. U MC4 katalogu identifikovan je kao SNR 0450-709 (Clarke, Little, & Mills, 1976). The Parkes-MIT-NRAO (PMN) surveys na frekvenciji od 4850 MHz ga detektuju i dodeljuju oznakom PMN J0450-7050 (Wright i autori, 1994).

Filipović i autori (1995,1996) su izvršili daljnju potvrdu u korist identifikacije ovog objekta kao ostatka supernove posmatranjima na radio kontinuumu sa Parkes – ovim teleskopom u širokom opsegu frekvencija. Posmatranja su vršena na frekvencijama od 1.40 GHz, 2.45 GHz, 4.75 GHz, 8.55 GHz (Filipović i autori, 1995), dok je posmatranje na 4.85 GHz vršeno sa Parkes-MIT-NRAO survey.

Filipović i autori (1998) nisu detektovali emisiju u X oblasti zračenja sa X-ray surveys kao što su RASS (*ROSAT All-Sky Survey*) ili Einstein survey. Iako je veliki broj kandidata za SNR identifikovano preko ROSAT (*ROentgen SATellite*) satelita, SNR J0450-709 se ne nalazi među njima. Takođe ROSAT PSPC i/ili HRI posmatranja nisu pokrila deo neba na kojem je SNR 0450 – 709. Uopšteno je sa ROSAT satelitom registrovano više od 60000 izvora u pogledu celog neba. Korišćenjem ovog satelita obezbeđena su kvalitetna posmatranja što omogućuje registrovanje izvora sa mnogo slabijim intenzitetom nego što bi se mogli detektovati drugim satelitima.

SNR J0450-709 je detektovan i u dalekoj ultraljubičastoj oblasti FUSE (*Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer*) satelitom, pri čemu mu je dodeljena oznaka D90401. Kao jedva primetan objekat detektovan je na talasnim dužinama ugljenika koji je dva puta jonizovan [C III] ( $\lambda = 977.020 \text{ \AA}$ ) i pet puta jonizovanog kiseonika [O VI] ( $\lambda = 1032 \text{ \AA}$ ,  $\lambda = 1038 \text{ \AA}$ ). X – zraci se čini da su svetliji u unutrašnjosti ljuske. (Blair, Ghavamian, Sankrit & Danforth, 2006).

Posmatranja u optičkom delu spektra pokazuju ljusku nepravilnog oblika sa svetlim vlaknima duž istočnog i zapadnog regiona ljuske kao i u samom centru. Emisija u  $H_{\alpha}$  liniji vodonika sa SNR J0450-709 pokazuje ljuskastu strukturu. Brzina ekspanzije kojom se širi iznosi 220 km/s. Posmatranjima u radio domenu na frekvenciji od 4800 MHz može se videti difuzna radio emisija preko cele površine SNR (Williams i autori, 2004). SNR B0450-709 je detektovan na  $H_{\alpha}$ , [S II] i [O III] emisionim linijama sa AAT narrow-band IPCS image data (Mathewson et al, 1985). Usrednjena vrednost odnosa [S II]/ $H_{\alpha}$  iznosi približno 0.7, što

prema Mathewson-u i autorima (1985) zadovoljava kriterijum za klasu evoluiranih (tzv. large diameter) ostataka supernovih. Kasnije Williams i autori (2004) takođe posmatraju u optičkom delu spektra i to sa Curtis Schmidt Telescope (Cerro Tololo Inter- American Observatory, CTIO) kao deo Magellanic Cloud Emission-Line Survey u  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6561 \text{ \AA}$ ) +  $[N II]$  ( $\lambda = 6548 \text{ \AA}, \lambda = 6583 \text{ \AA}$ ),  $[S II]$  ( $\lambda = 6716 \text{ \AA}, \lambda = 6731 \text{ \AA}$ ) i crvenom kontinuumu ( $\lambda_0 = 6850 \text{ \AA}, \Delta\lambda = 95 \text{ \AA}$ ). Filipović i autori (1998b) su koristeći Parks teleskop na niskoj rezoluciji sa multifrekvencionom analizom izmerili vrednost spektralnog indeksa na  $\alpha = -0.39 \pm 0.08$ . Nedavno su Payne i autori (2008) u svojim istraživanjima LMC SNRs na optičkim talasnim dužinama proučavali i SNR 0450-709 i izmerili vrednost odnosa  $[SII]/H_{\alpha}$  u iznosu od 0.5 što je tipično za SNRs.

Razni teorijski modeli predviđaju različite vrednosti starosti ovog ostatka supernove i kreću se u intervalu od 53 000 do 95 000 godina. Faktori koji utiču na procenjivanje starosti SNR jesu unutrašnji pritisak, sastav i gustina MZM. Prema Williams i autorima (2004) starost se procenjuje na 95 000 godina stim da su pošli od pretpostavke da se ostatak sporije hladi i razvija u sredini sa manjom gustinom MZM ( $0.01 \text{ cm}^{-3}$ ).



## 5. Obrada podataka

### 5.1. Posmatrački podaci

Posmatranja SNR B0450-709 su vršena sa *Australia Telescope Compact Array* (ATCA) 6. aprila 1997. godine sa EW375-m antenskom konfiguracijom na talasnim dužinama od 6 cm (4.8 GHz) i 3 cm (8.64 GHz). Rastojanja koja su formirana sa šestom ATCA antenom su izostavljena, dok su ostalih pet antena organizovane u kompaktnu konfiguraciju. Posmatranja su izvedena u takozvanoj tehnici "snap-shot" moda. Izvor PKS B1934-638 uzet je za primarnu kalibraciju, dok je PKS B0530-727 uzet za sekundarnu kalibraciju.

MIRIAD (Sault & Killeen, 2006) i KARMA (Gooch, 2006) softveri korišćeni su za obradu i analizu podataka, pri čemu je za dobijanje slika koje su predstavljene u delu teksta koji sledi, upotrebljena multifrekvenciona sinteza (Sault & Wieringa 1994).

Slike su pripremljene, očišćene i dekonvoluirane koristeći se Miriad paketom. Jedan od najefikasnijih metoda za dekonvoluciju jeste CLEAN algoritam.

*Australia Telescope Compact Array* (ATCA) (Slika 5.1) je radio teleskop koji se sastoji od šest 22-metarskih antena. Teleskop je lociran u Kalguri (Culgoora) 25 km zapadno od grada Narabraj (Narrabri), u Novom Južnom Velsu (New South Wales) u Australiji. ATNF (*Australia Telescope National Facility*) upravlja ovim teleskopom.

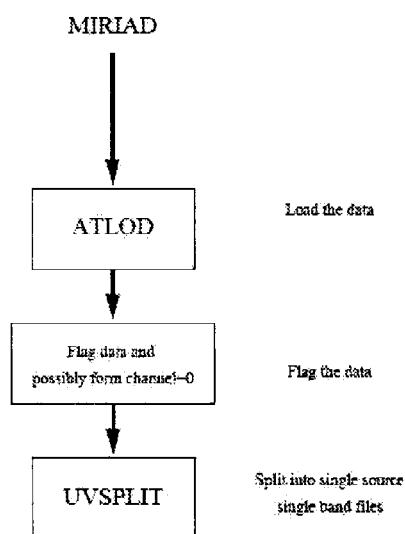


Slika 5.1 ATCA (*Australia Telescope Compact Array*)  
(<http://www.narrabri.atnf.csiro.au/>)

## 5.2. Miriad

Miriad softverski paket je program koji se sastoji od mnoštvo naredbi neophodnih za obradu astronomskih podataka. Početni ili 'sirovi' ATCA podaci imaju ekstenziju .DAT. Podaci sa posmatranja su skladišteni u FITS formatu (*Flexible Image Transport System*). To je standardan zapis astronomskih podataka. FITS je mnogo više od samog zapisa slike (poput JPG ili GIF-a) i primarno je kreiran da skladišti naučne podatke. Posmatrački podaci mogu se još zapisati u obliku RPFITS-a koji je modifikovana verzija FITS-a u kojem su podaci dobijeni iz ATNF-a inicijalno zapisani.

Kompletan proces obrade posmatračkih podataka ostatka supernove J0450-709 je izvršen pod operativnim sistemom LINUX. Glavni softveri pomoću kojih su podaci dalje procesuirani su: MIRIAD, KARMA i PGPLOT, takođe instalirani pod LINUX-om.

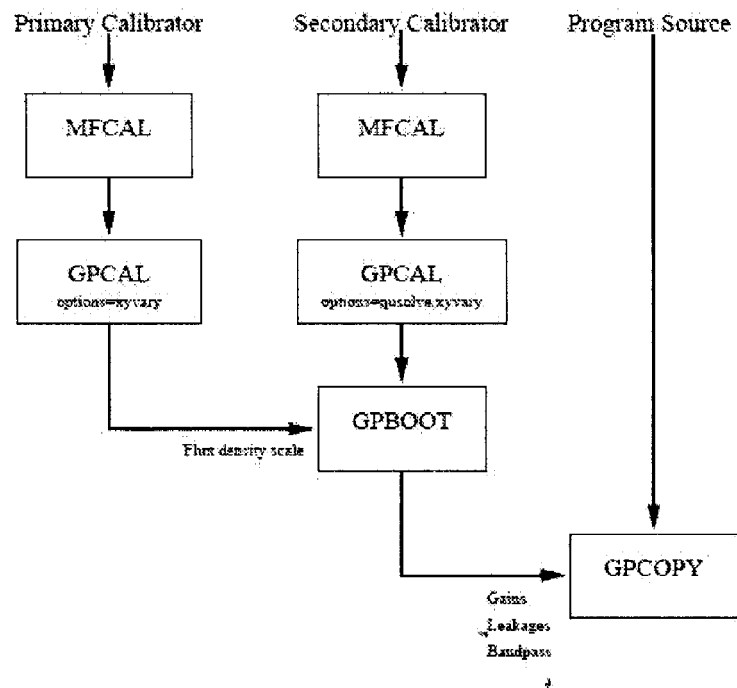


Slika 5.2. Šema prvih naredbi koje se koriste u učitavanju podataka.

je sirove podatke pretvoriti u miriad format, a to se postiže naredbom ATLOD (Slika 5.2). Nakon toga stvara se uv fajl iz kojeg se dalje ekstrahuje nekoliko data setova, gde svaki od ovih podataka ima jedinstvenu frekvenciju, ovo se postiže naredbom UVSPLIT. Ovde je sada iz 0450.uv fajla ekstrahovan primarni, sekundarni kalibrator i posmatrački objekat na jednoj od posmatranih frekvencija. U zavisnosti od toga da li je dovoljno dugo drugi izvor koji je uzet za kalibraciju (u ovom slučaju PKS B0530-727) posmatran, pristupa se sledećoj šemi Slika 5.3. U ovom slučaju sekundarni izvor koji je uzet za kalibraciju posmatran je dovoljno dugo odnosno dovoljno neba je pokriveno po svakom baseline-u (razmaku između antena). Prvi i drugi izvor koji su uzeti za kalibraciju isto se obrađuju stim što se kod drugog izvora u naredbi GPCAL pod opcijama osim *xyvary* dodaje i *qusolve*.

Miriad shell je okruženje koje je pogodno za odabir potrebnih instrukcija i opcija za miriad zadatke. Miriad sastoji se od širokog spektra naredbi koje se aktiviraju u zavisnosti od toga šta se želi dobiti, obraditi itd.. U njemu se ekstrahuju sirovi podaci koje interferometar skladišti u toku posmatranja. Zatim vrši se kalibracija odabranih izvora, dekonvolucija i stvaranje slike. Odabir izvora kalibratora zasniva se na činjenicama da to moraju biti jaki izvori, da se nalze u blizini posmatračkog objekta, a uzimaju se iz kataloga. Karma je softver u kojem se nakon odrađenih dekonvolucija u miriadu slika dalje obrađuje. Pgplot se koristi za crtanje.

Za čitanje ATCA podataka koji su u RPFITS formatu, koristi se naredba ATLOD. Pre nego što se bilo kakva obrada započne potrebno

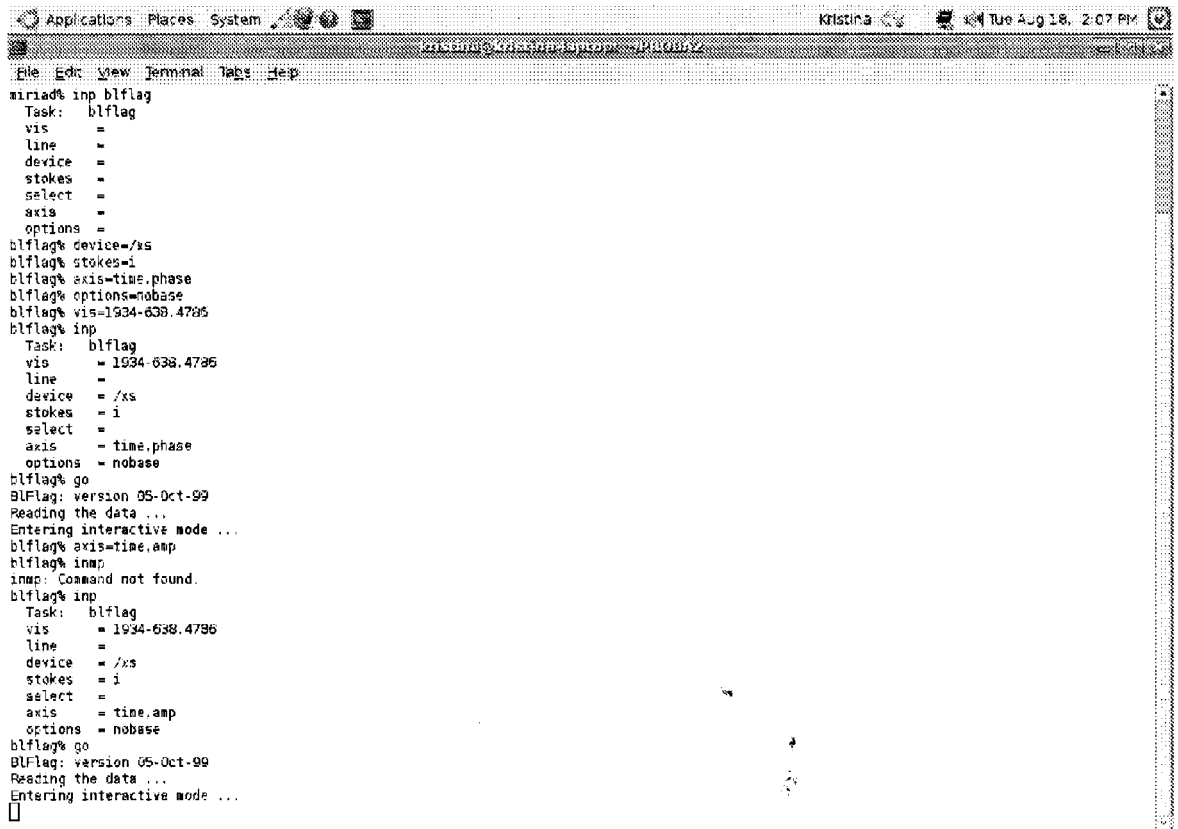


Slika 5.3. Šema kalibracije primarnog i sekundarnog kalibracionog izvora.

### 5.2.1. Kalibracija primarnog i sekundarnog izvora

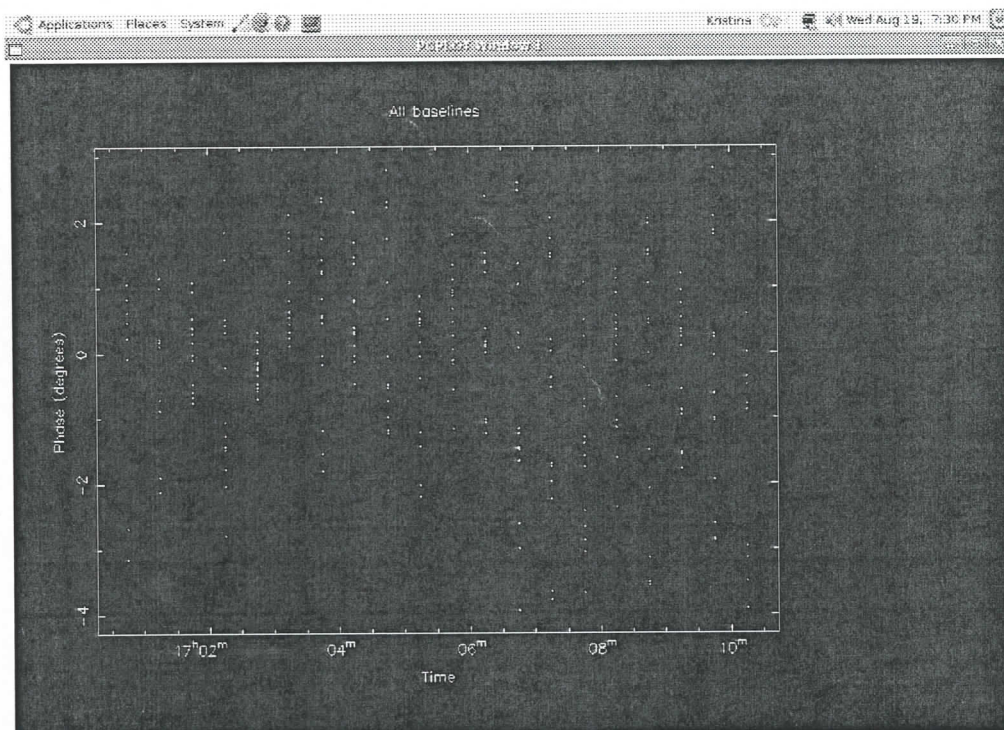
Kalibracija prvog izvora radi se pomoću sledećeg niza naredbi kao što su: BLFLAG, MFCAL i GPCAL. BLFLAG naredbom čiste se loše tačke merenja (bad data) koje se očitavaju na grafiku (vreme u funkciji amplitude ili vreme u funkciji faze). Ovo se ponavlja sve dok se loše tačke koje će smetati u daljnjoj obradi ne uklone (Slika 5.4, Slika 5.5, Slika 5.6, Slika 5.7 i Slika 5.8).



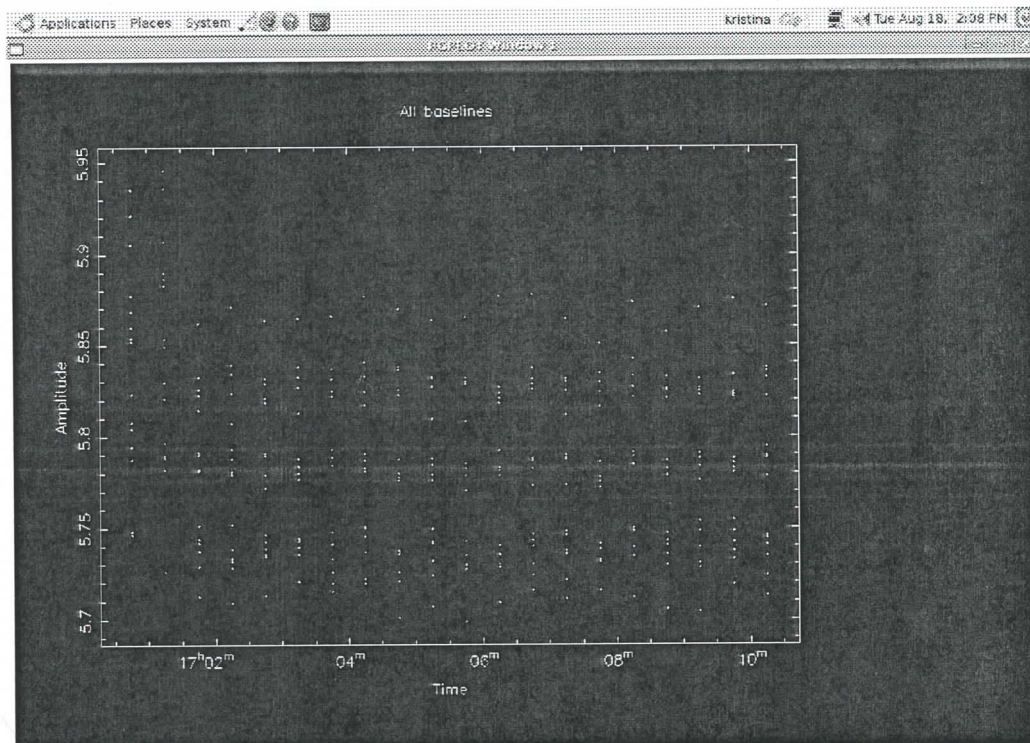


```
Applications Places System Kristina Tue Aug 18, 2:07 PM
miriad% inp blflag
Task: blflag
vis =
line =
device =
stokes =
select =
axis =
options =
blflag% device=/xs
blflag% stokes=i
blflag% axis=time.phase
blflag% options=nobase
blflag% vis=1934-638.4786
blflag% inp
Task: blflag
vis = 1934-638.4786
line =
device = /xs
stokes = i
select =
axis = time.phase
options = nobase
blflag% go
BLFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
blflag% axis=time.amp
blflag% inp
inp: Command not found.
blflag% inp
Task: blflag
vis = 1934-638.4786
line =
device = /xs
stokes = i
select =
axis = time.amp
options = nobase
blflag% go
BLFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
```

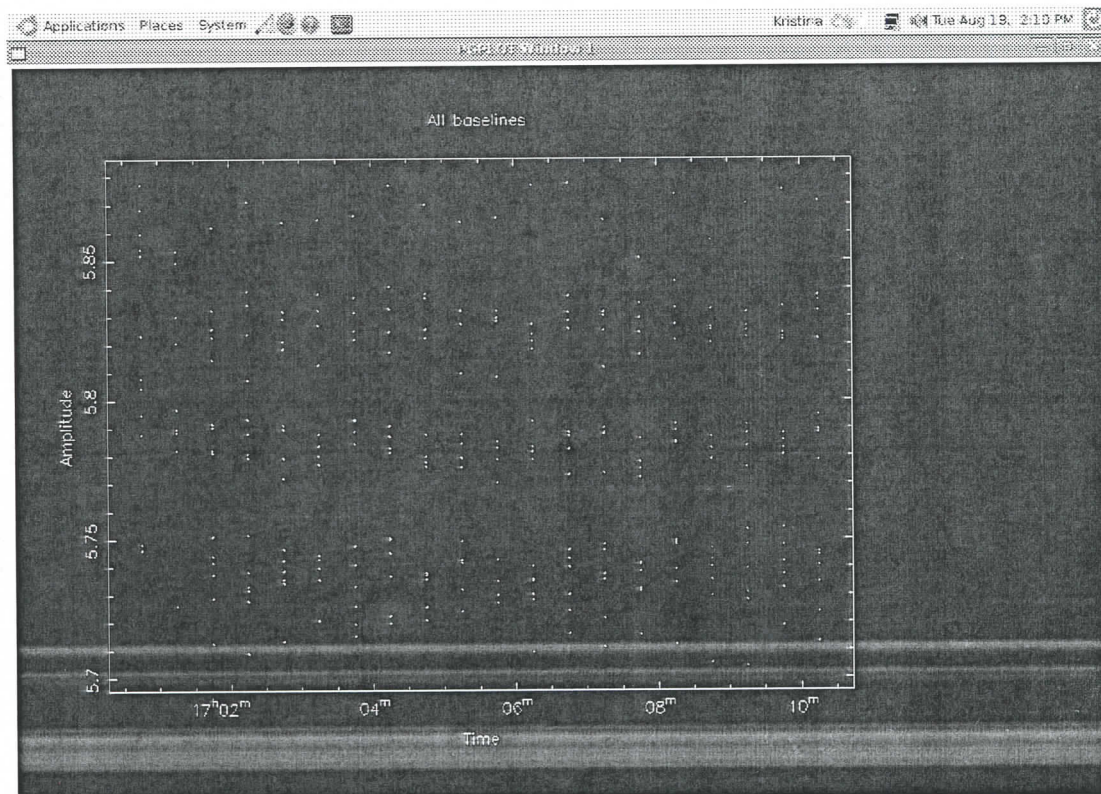
Slika 5.4. BLFLAG primarnog kalibracionog izvora PKS B1934-638 na frekvenciji od 4.8 GHz u miriadu.



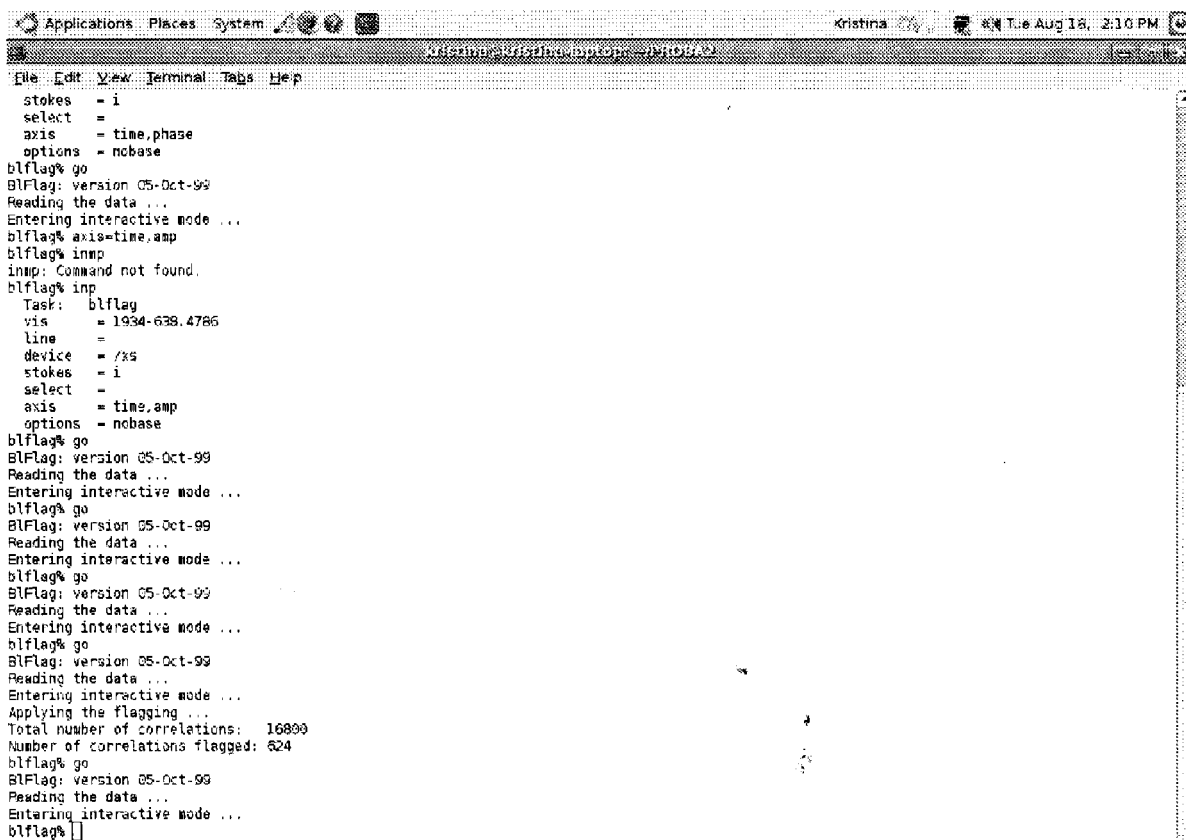
Slika 5.5. Primarni kalibracioni izvor PKS B1934-638 na frekvenciji od 4.8 GHz nakon flagiranja. Grafik vreme u funkciji faze po svim baseline-ovima.



Slika 5.6. Primarni kalibracioni izvor PKS B1934-638 na frekvenciji od 4.8 GHz pre flagiranja. Grafik vreme u funkciji amplitude po svim baseline-ovima.



Slika 5.7. Primarni kalibracioni izvor PKS B1934-638 na frekvenciji od 4.8 GHz nakon flagiranja. Grafik vreme u funkciji amplitude po svim baseline-ovima.



```
Applications Places System [Icons] Kristina 4:11 TUE Aug 18, 2:10 PM
blflag@miriad:~$ blflag
stokes = i
select =
axis = time,phase
options = nobase
blflag% go
BlFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
blflag% axis=time,amp
blflag% inmp
inmp: Command not found.
blflag% inp
Task: blflag
vis = 1934-638.4786
line =
device = /rs
stokes = i
select =
axis = time,amp
options = nobase
blflag% go
BlFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
blflag% go
BlFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
blflag% go
BlFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
blflag% go
BlFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Applying the flagging ...
Total number of correlations: 16800
Number of correlations flagged: 624
blflag% go
BlFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
blflag% ]
```

Slika 5.8. Nakon flagiranja u polju vidljivosti (uv field) primarnog kalibracionog izvora PKS B1934-638 odstranjene su loše tačke. Prikaz u miriadu.

MFCAL utvrđuje bandpass funkciju u vidljivom polju podataka i usmerenost antena. Usmerenost antena je bazirana na pretpostavci da je izvor ne polarizovan (što je tačno za primarni kalibrator PKS B1934-638) i da je instrumentalna polarizacija jednaka nuli što u ovom slučaju nije tačno. Naredbom GPCAL se ovo ispravlja odnosno utvrđuje polarizacija instrumenta (Slika 5.9). Da bi se videlo curenje 'leakage' koristi se naredba UVPLT. Ova naredba omogućuje da se vidi curenje na grafiku koji redstavlja zavisnost vremena od amplitude i vremena od faze koji smo postigli sa naredbom MFCAL.

```

Applications Places System Kristina Wed Aug 19, 8:10 PM
Miriad: Kristina: E:\gpcal - miriad

Iter= 1. Solution Error: 0.294
Iter= 2. Solution Error: 0.000
Saving solution ...
#fcal% inp gpcal
Task: gpcal
vis = 1934-638.4786
select =
line =
flux =
refant = 3
minants =
interval = 1
tol =
xyphase =
options =
gpcal% options=xyvary
gpcal% go
Gpcal: version 1.0 7-Oct-04
Applying bandpass corrections to 1934-638.4786
Number of antennae: 6
Reading the data ...
Number of solution intervals: 8
Total visibilities read: 300
### Warning: Number of flagged visibilities: 23
Number visibilities accepted: 277
### Warning: Using post-Aug94 ATCA flux scale for 1934-638
Using IQUV = 5.8431, 0.0000, 0.0000, 0.0000.
### Informational: Source is a recognised flux calibrator
Iter= 1. Amplit/Phase Solution Error: 0.185
Iter= 1. Polarisation Solution Error: 0.037
Iter= 1. Overall Solution Error: 0.729
Iter= 2. Amplit/Phase Solution Error: 0.002
Iter= 2. Polarisation Solution Error: 0.000
Iter= 2. Overall Solution Error: 0.004
Iter= 3. Amplit/Phase Solution Error: 0.001
Iter= 3. Polarisation Solution Error: 0.000
Iter= 3. Overall Solution Error: 0.001
I flux density: 5.843
Leakage terms:
Ant 1: Dx, Dy = (-0.010, 0.025), (0.007, 0.026)
Ant 2: Dx, Dy = (-0.007, 0.007), (0.000, 0.003)
Ant 3: Dx, Dy = (-0.009, 0.009), (0.005, 0.010)
Ant 4: Dx, Dy = (0.001, -0.027), (-0.005, -0.024)
Ant 5: Dx, Dy = (0.008, -0.009), (-0.012, -0.010)
Ant 6: Dx, Dy = (-0.001, -0.005), (-0.012, -0.005)
gpcal%

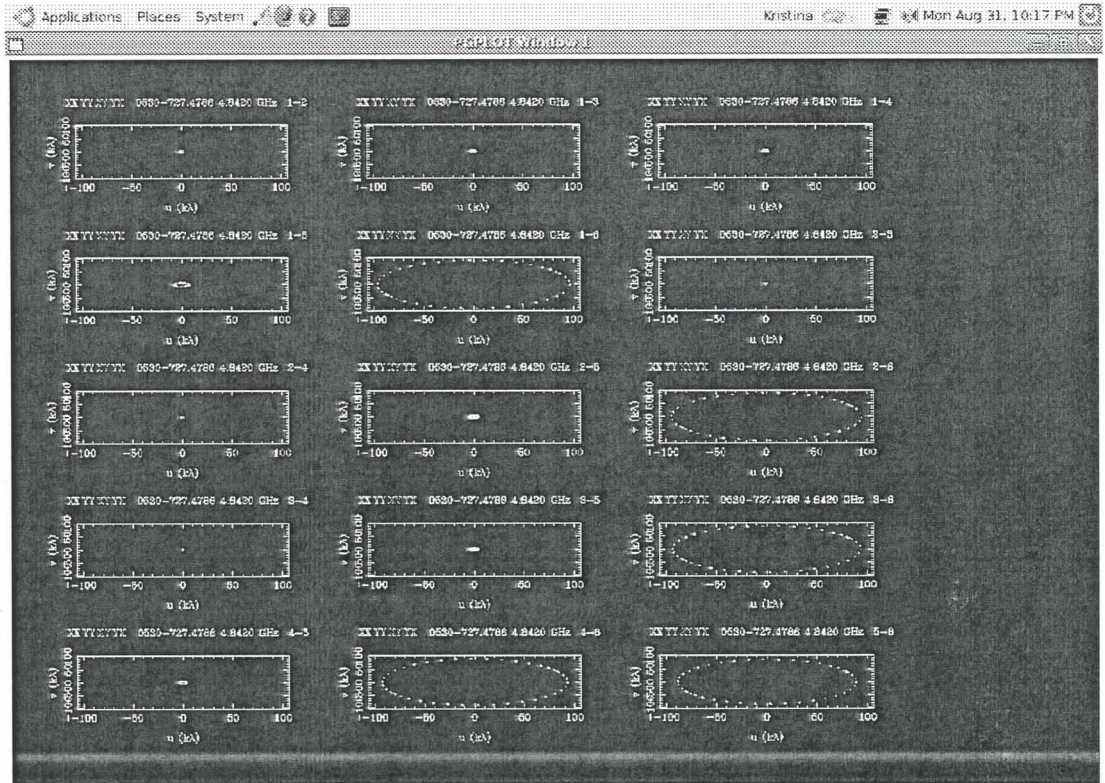
```

Slika 5.9. Prikaz u miriadu nakon GPCAL naredbe.

Sve se ovo isto ponovi za drugi kalibrator, stim da se kod GPCAL naredbe u opcijama stave *qusolve*, *xyvary*. Opcija *qusolve* brine se za Q i U flukseve i u ovom slučaju kod drugog kalibratora je aktivna jer ima dovoljno dobru pokrivenost paralaktičkog ugla. Slika 5.10 i 5.10a.







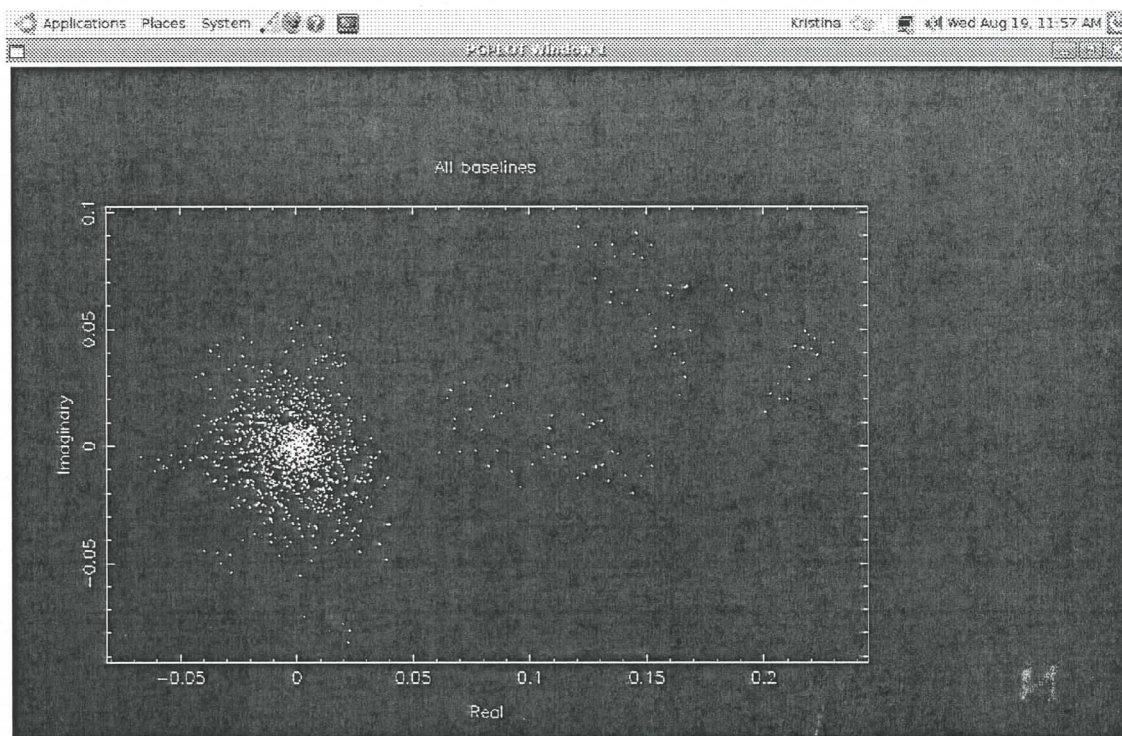
Slika 5.10a. Prikaz pokrivenosti paralaktičkog ugla kod sekundarnog kalibracionog izvora po svim baseline-ovima. Uočava se zadovoljavajuća pokrivenost neba sa 1-6, 2-6, 3-6, 4-6, 5-6 antenom.

U cilju odstranjivanja loših tačaka kod posmatranog objekta LMC SNR 0450-709 korišćena je naredba BLFLAG kao i kod kalibracionih izvora (Slika 5.11, Slika 5.12a, Slika 5.12b).

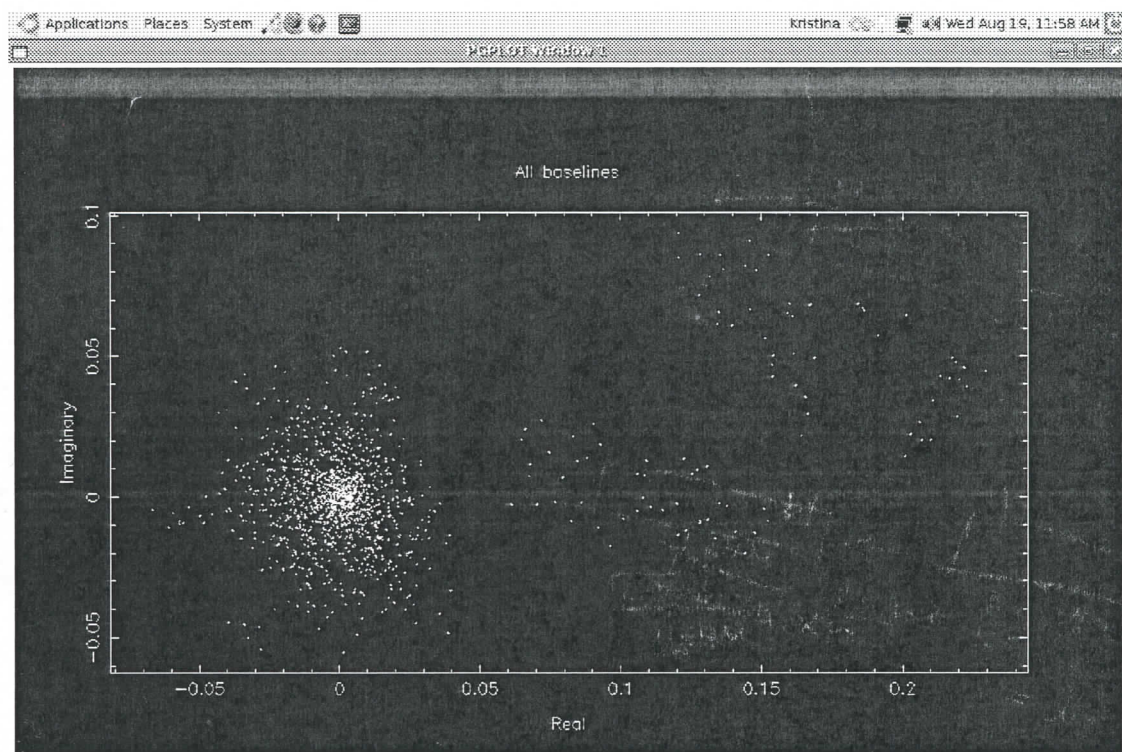
```
Applications Places System Kristina Wed Aug 19, 11:59 AM
crk@crk:~/blflag$
File Edit View Terminal Tabs Help
Iter= 2, Polarisation Solution Error: 0.030
Iter= 2, Overall Solution Error: 0.023
Iter= 3, Amplit/Phase Solution Error: 0.001
Iter= 3, Polarisation Solution Error: 0.030
Iter= 3, Overall Solution Error: 0.001
I flux density: 0.295
Percent O: -2.896
Percent U: -2.896
Leakage terms:
Ant 1:Dx,Dy = (-0.005, 0.027),( 0.007, 0.025)
Ant 2:Dx,Dy = (-0.005, 0.007),( 0.000, -0.002)
Ant 3:Dx,Dy = (-0.007, 0.007),( 0.004, 0.009)
Ant 4:Dx,Dy = ( 0.003, -0.027),( -0.005, -0.025)
Ant 5:Dx,Dy = ( 0.008, -0.016),( -0.014, -0.010)
Ant 6:Dx,Dy = ( 0.000, 0.000),( 0.000, 0.000)
gpcal% inp blflag
Task: blflag
vis = 0530-727.4786
line =
device = /xs
stokes = 1
select =
axis = time.phase
options = xyvary.qsolve
blflag% vis=lmc_b0450-70.4786
blflag% axis=real,imag
blflag% options=nobase
blflag% inp
Task: blflag
vis = lmc_b0450-70.4786
line =
device = /xs
stokes = 1
select =
axis = real,imag
options = nobase
blflag% go
BLFlag: version 05-Oct-99
Reading the data ...
Entering interactive mode ...
Applying the flagging ...
Total number of correlations: 79800
Number of correlations flagged: 260
blflag%
```

Slika 5.11. BLFLAG-om su odstranjene suvišne tačke kod posmatranog izvora SNR 0450-709.



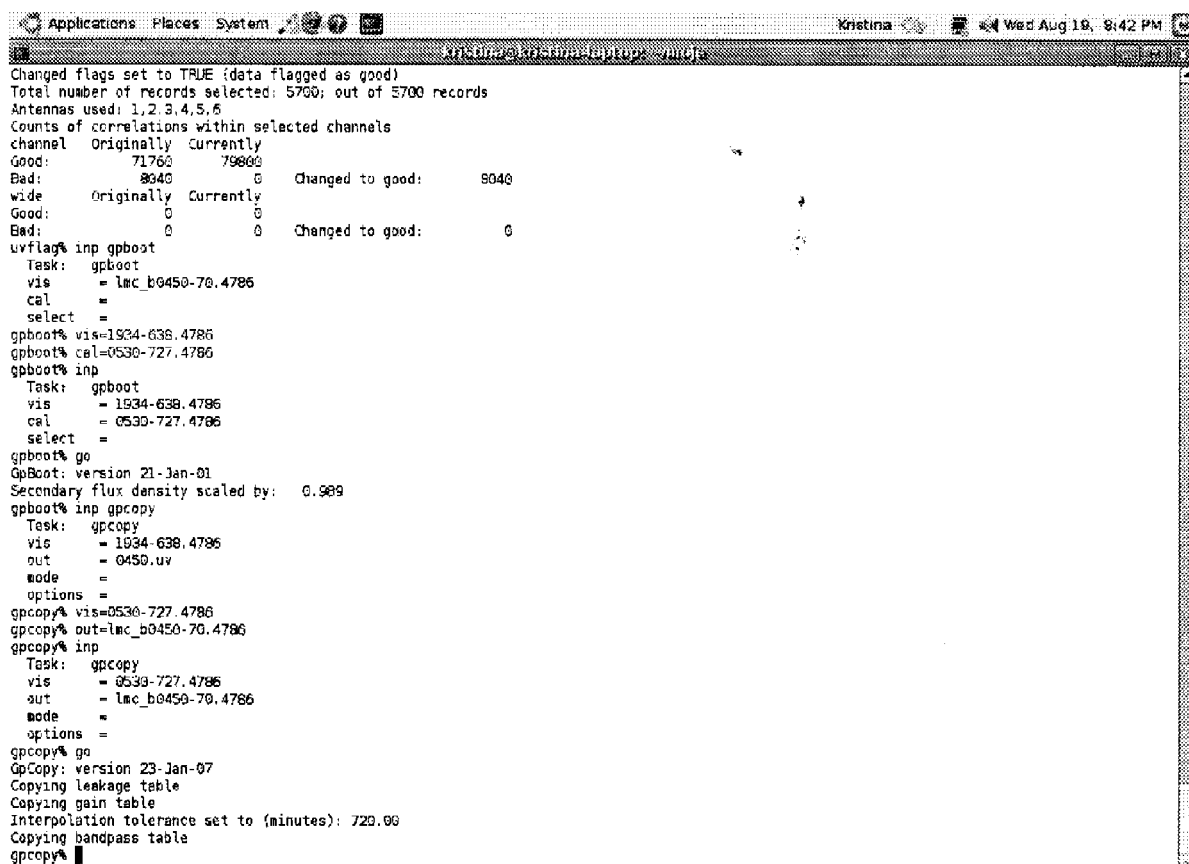


Slika 5.12a. Grafički prikaz objekta SNR 0450-709 po svim baseline-ovima na realnoj i imaginarnoj osi pre nego što su se odstranile loše tačke.



Slika 5.12b. Grafički prikaz objekta SNR 0450-709 po svim baseline-ovima na realnoj i imaginarnoj osi nakon flagiranja.

Nakon izvršene kalibracije sekundarnog kalibratora potrebno je naredbom GPBOOT ispraviti gustinu fluksa drugog kalibratora (Slika 5.13). Gustina fluksa sekundarnog kalibratora određena je predpostavkom da je rms amplituda usmerenosti jednaka jedinici. Iako su usmerenosti antena pre početka posmatranja izjednačene (što je uobičajena praksa) greška ove predpostavke će biti mala, pa je potrebno izvršiti vrlo male izmene. Obzirom da znamo gustinu fluksa primarnog kalibratora, izmene gustine fluksa mogu biti izvedene za sekundarni kalibrator. Usmerenosti antena sekundarnog kalibratora mogu se poboljšati da pokazuju pravu gustinu fluksa sekundarnog kalibratora. Sada se kalibracione ispravke (tabele usmerenosti antena, polarizacionih curenja, frekvencionih tabela i bandpass itema) kopiraju ili spajaju iz sekundarnog izvora u posmatrani objekat. Ovo se postiže naredbom GPCOPY (Slika 5.13).

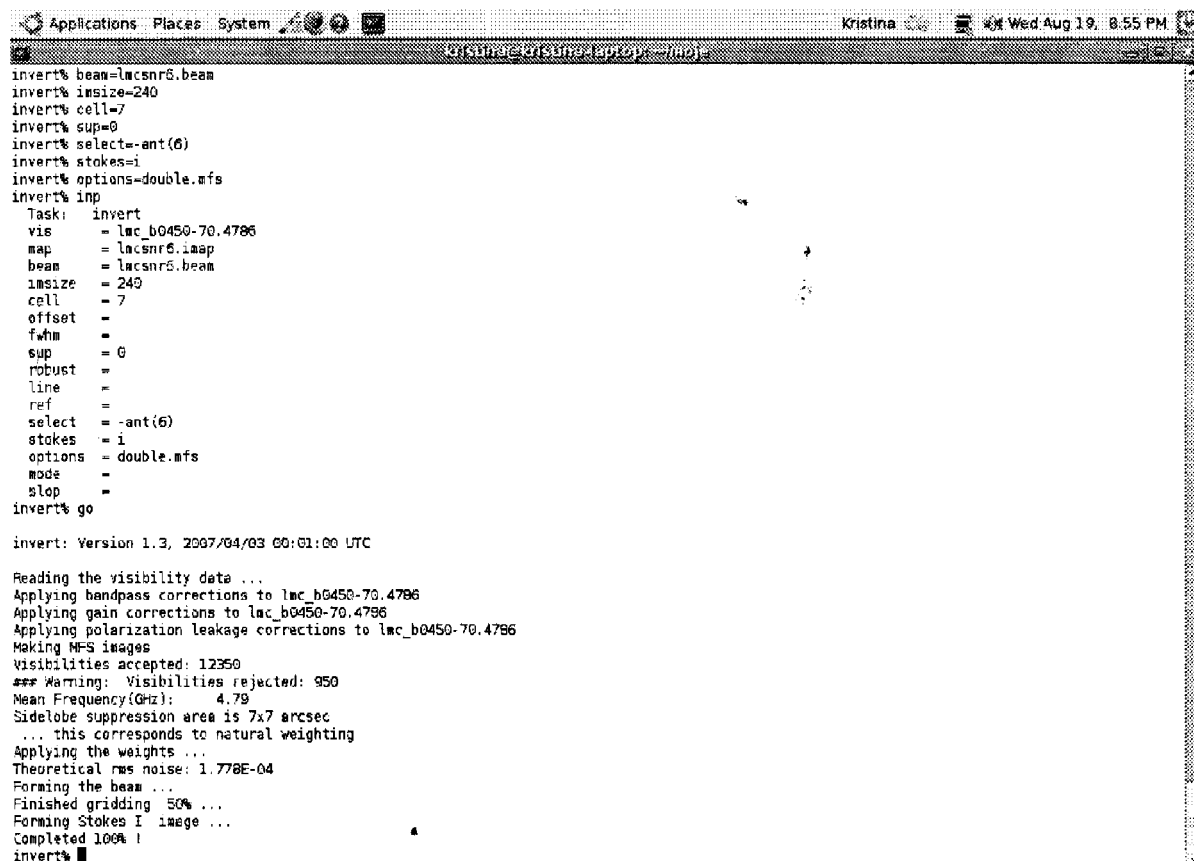


```
Applications Places System Kristina Wed Aug 19, 9:42 PM
gpcopy@kristina-laptop: ~$
Changed flags set to TRUE (data flagged as good)
Total number of records selected: 5700; out of 5700 records
Antennas used: 1,2,3,4,5,6
Counts of correlations within selected channels
channel Originally Currently
Good: 71760 79800
Bad: 8040 0 Changed to good: 8040
wide Originally Currently
Good: 0 0
Bad: 0 0 Changed to good: 0
uvflag% inp gpboot
Task: gpboot
vis = lmc_b0450-70.4786
cal =
select =
gpboot% vis=1934-638.4786
gpboot% cal=0530-727.4786
gpboot% inp
Task: gpboot
vis = 1934-638.4786
cal = 0530-727.4786
select =
gpboot% go
GpBoot: version 21-Jan-01
Secondary flux density scaled by: 0.989
gpboot% inp gpcopy
Task: gpcopy
vis = 1934-638.4786
out = 0450.uv
mode =
options =
gpcopy% vis=0530-727.4786
gpcopy% out=lmc_b0450-70.4786
gpcopy% inp
Task: gpcopy
vis = 0530-727.4786
out = lmc_b0450-70.4786
mode =
options =
gpcopy% go
GpCopy: version 23-Jan-07
Copying leakage table
Copying gain table
Interpolation tolerance set to (minutes): 720.00
Copying bandpass table
gpcopy%
```

Slika 5.13. GPBOOT i GPCOPY. Ispravka gustine fluksa sekundarnog izvora i kopiranje određenih tabela iz sekundarnog izvora u posmatrani objekat SNR 0450-709.

### 5.2.2. Dobijanje slike na 6 cm

Naredbom INVERT (Slika 5.14) formiraju se takozvane prljave slike ili 'dirty image' iz vidljivih podataka. Formiraju se dve slike i to slika sa glavnim snopom u uv ravni sa mnoštvo sporednih snopova (Slika 5.15) i slika koja predstavlja, tzv. image za I Stoksov parametar (Slika 5.16). Isto se na ovaj način mogu oformiti slike za Q i U Stoksove parametre na potrebnoj frekvenciji. Sledeća etapa odnosi se na dekonvoluciju, što znači da ove slike treba očistiti. Najefikasniji algoritam za dekonvoluciju jeste CLEAN algoritam. Dekonvolucija pokušava da odstrani sporedne snopove koji su prisutni na dirty beam-y (Slika 5.15).



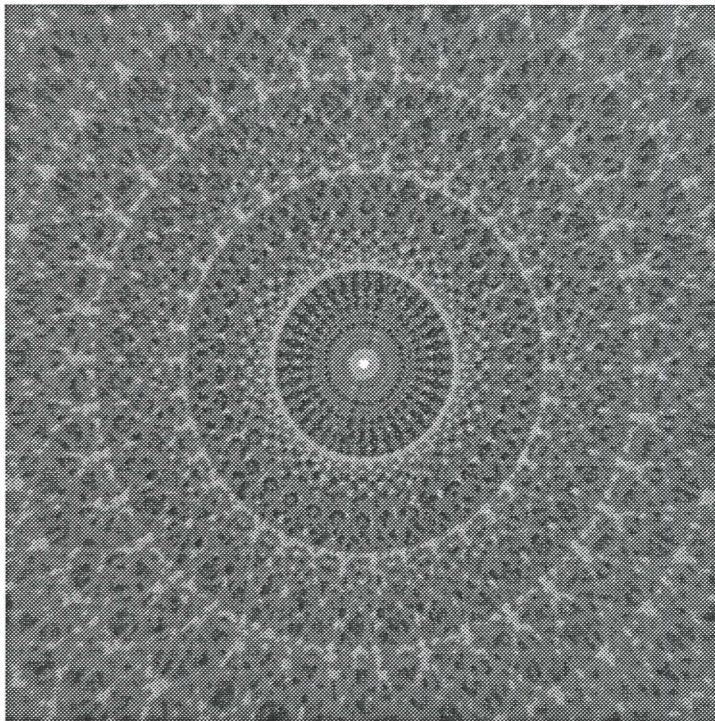
```
Applications Places System Kristina Wed Aug 19 8:55 PM
invert% beam=lacsnr5.beam
invert% lmsize=240
invert% cell=7
invert% sup=0
invert% select=-ant(6)
invert% stokes=i
invert% options=double.mfs
invert% inp
Task: invert
vis = lac_b0450-70.4786
map = lacsnr5.map
beam = lacsnr5.beam
lmsize = 240
cell = 7
offset =
fwhm =
sup = 0
robust =
line =
ref =
select = -ant(6)
stokes = i
options = double.mfs
mode =
stop =
invert% go

invert: Version 1.3, 2007/04/03 00:01:00 UTC

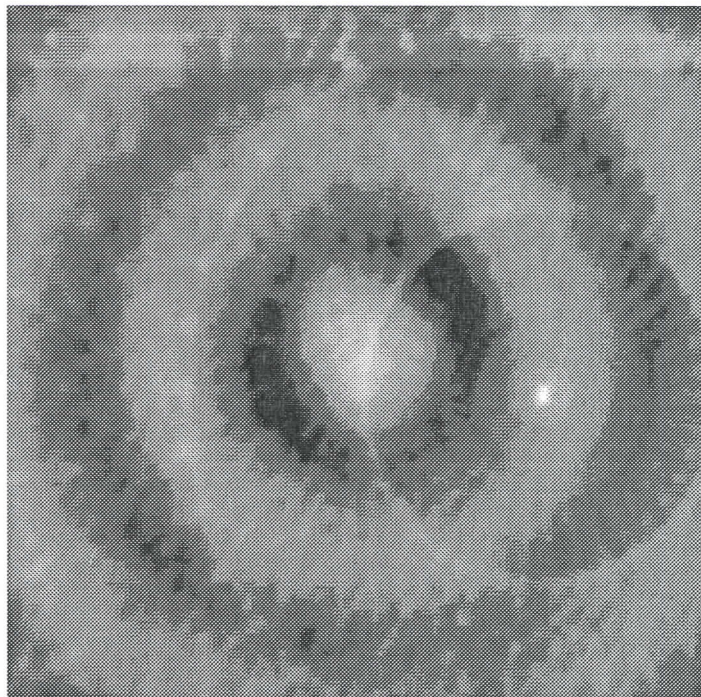
Reading the visibility data ...
Applying bandpass corrections to lac_b0450-70.4786
Applying gain corrections to lac_b0450-70.4786
Applying polarization leakage corrections to lac_b0450-70.4786
Making MFS images
Visibilities accepted: 12350
*** Warning: Visibilities rejected: 950
Mean Frequency(GHz): 4.79
Sidelobe suppression area is 7x7 arcsec
... this corresponds to natural weighting
Applying the weights ...
Theoretical rms noise: 1.778E-04
Forming the beam ...
Finished gridding 50% ...
Forming Stokes I image ...
Completed 100% !
invert% █
```

Slika 5.14. INVERT



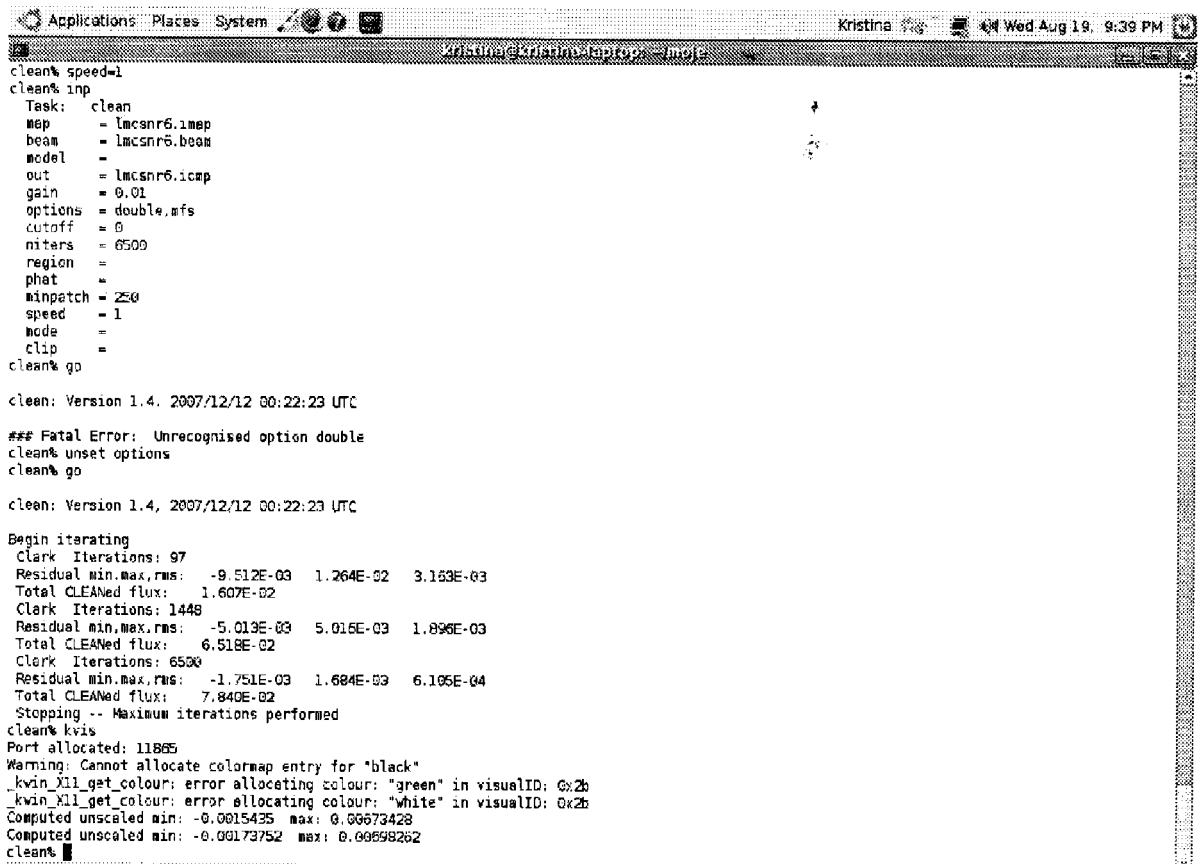


Slika 5.15. Formirana je slika primarnih i sekundarnih snopova (*dirty beam*). U centru se nalazi glavni snop, dok ostale koncentrične kružnice predstavljaju sporedne snopove koje treba ukloniti.



Slika 5.16. Prikaz slike za I Stoksov parametar koja je dobijena naredbom *INVERT* - "*dirty image*". U centru slike nazire se posmatrani objekat, dok sa desne strane svetla tačka predstavlja drugi objekat ili pozadinski izvor.

CLEAN algoritam prikazuje sliku kao ogroman broj tačkastih izvora posmatranog objekta. Traži najsvetliji piksel (tzv. Clean component) u određenom području slike. Iterativnom procedurom nalaze se položaji i jačine ovih tačkastih izvora. Idealno bi bilo kada bi se samo našle pozitivne komponente (ovo važi samo za Stoksove I slike, a ne za Q, U i V), međutim i negativne komponente se pojavljuju. Na mestu gde se nalazi najsvetliji piksel CLEAN "operiše" sa slikama dirty beam (Slika 5.15) i dirty image (Slika 5.16) u smislu da ih oduzima jednu od druge i kao rezultat ovog oduzimanja nastaje "residual image". Ovo se ponavlja sve dok se ne redukuju sporedni snopovi koji su vidljivi na slici ispod nivoa šuma (Slika 5.18). Nakon što se iskoristi naredba CLEAN u miriadi (Slika 5.17) za "prljavu" sliku i sliku beam-a formira se tzv. CLEAN component image koja ima gustinu fluksa izraženu u Jy/pixel.



```
Applications Places System Kristina Wed Aug 19, 9:39 PM
Kristina@kristina-kajko: ~
clean% speed=1
clean% inp
Task: clean
map = lmcsnr6.imap
beam = lmcsnr6.beam
model =
out = lmcsnr6.icmp
gain = 0.01
options = double,mfs
cutoff = 0
niters = 6500
region =
phat =
minpatch = 250
speed = 1
mode =
clip =
clean% go

clean: Version 1.4, 2007/12/12 00:22:23 UTC

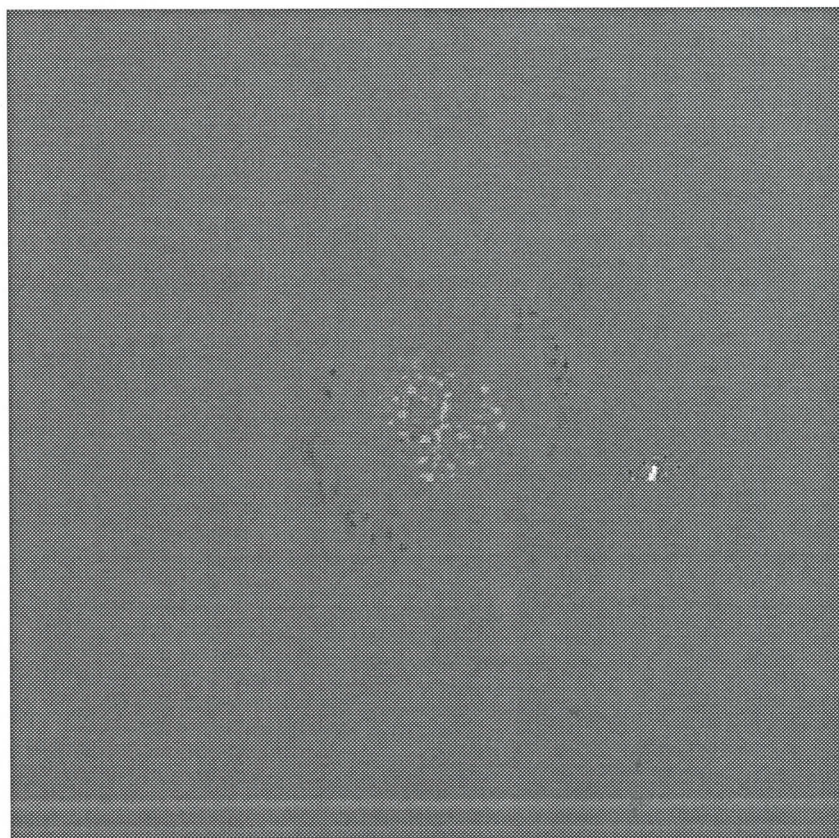
### Fatal Error: Unrecognised option double
clean% unset options
clean% go

clean: Version 1.4, 2007/12/12 00:22:23 UTC

Begin iterating
Clark Iterations: 97
Residual min,max,rms: -9.512E-03 1.264E-02 3.153E-03
Total CLEANed flux: 1.607E-02
Clark Iterations: 1448
Residual min,max,rms: -5.013E-03 5.015E-03 1.896E-03
Total CLEANed flux: 6.518E-02
Clark Iterations: 6500
Residual min,max,rms: -1.751E-03 1.684E-03 6.105E-04
Total CLEANed flux: 7.840E-02
Stopping -- Maximum iterations performed
clean% kvis
Port allocated: 11865
Warning: Cannot allocate colormap entry for "black"
_kvwin_X11_get_colour: error allocating colour: "green" in visualID: 0x2b
_kvwin_X11_get_colour: error allocating colour: "white" in visualID: 0x2b
Computed unscaled min: -0.0015435 max: 0.00673428
Computed unscaled min: -0.00173752 max: 0.00659262
clean%
```

Slika 5.17. CLEAN





Slika 5.18. Dobijena slika nakon CLEAN-a ili nakon dekonvolucije.

Da bi se videlo šta je ostalo na slici nakon "čišćenja", naredbom RESTOR sada se slika nakon CLEAN-a (Slika 5.18) oduzima od originalne dirty image (Slika 5.16). U Karmi se može videti ono što je ostalo nakon upotrebe CLEAN-a i RESTOR-a, a prikazano je na Slici 5.20.

Ovo se ponavlja sve dok se efekti sporednih snopova ne odstrane i ne dobije jasna slika posmatranog objekta, a onda se daljna podešavanja izgleda slike vrše u Karmi. Tako dobijena slika posmatranog objekta na 6cm prikazana je na Slici 6.5. koja se nalazi u narednom poglavlju.

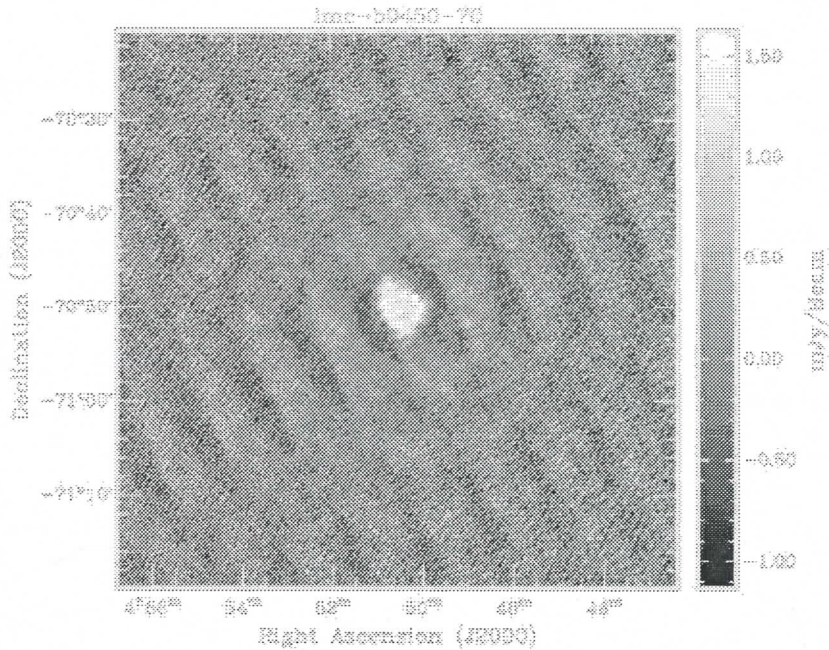


```

Applications Places System Kristina Wed Aug 19, 9:44 PM
Krisina@kristina-laptop: ~/mujj
Residual min,max,rms: -5.013E-03 5.016E-03 1.896E-03
Total CLEANed flux: 6.518E-02
Clark Iterations: 6500
Residual min,max,rms: -1.751E-03 1.684E-03 6.105E-04
Total CLEANed flux: 7.840E-02
Stopping -- Maxiaua iterations performed
clean% kvis
Port allocated: 11865
Warning: Cannot allocate colormap entry for "black"
_kwin_X11_get_colour: error allocating colour: "green" in visualID: 0x2b
_kwin_X11_get_colour: error allocating colour: "white" in visualID: 0x2b
Computed unscaled min: -0.0015435 max: 0.00673428
Computed unscaled min: -0.00173752 max: 0.00695252
clean% kvis
Port allocated: 11865
Warning: Cannot allocate colormap entry for "black"
_kwin_X11_get_colour: error allocating colour: "green" in visualID: 0x2b
_kwin_X11_get_colour: error allocating colour: "white" in visualID: 0x2b
Computed unscaled min: -0.0015435 max: 0.00673428
Wrote PostScript file: "lacsnr6.icmp.ps"
X connection to :0.0 broken (explicit kill or server shutdown).
clean% inp restor
Task: restor
model =
beam = lacsnr6.beam
map = lacsnr6.imap
mode =
fwhm =
pa =
out = lacsnr6.icmp
restor% model=lacsnr6.icmp
restor% out=lacsnr6.icln
restor% inp
Task: restor
model = lacsnr6.icmp
beam = lacsnr6.beam
map = lacsnr6.imap
mode =
fwhm =
pa =
out = lacsnr6.icln
restor% go
Restor: version 1.3 07- Feb-2002
Using gaussian beam fwhm of 35.398 by 33.248 arcsec.
Position angle: -19.3 degrees.
restor%

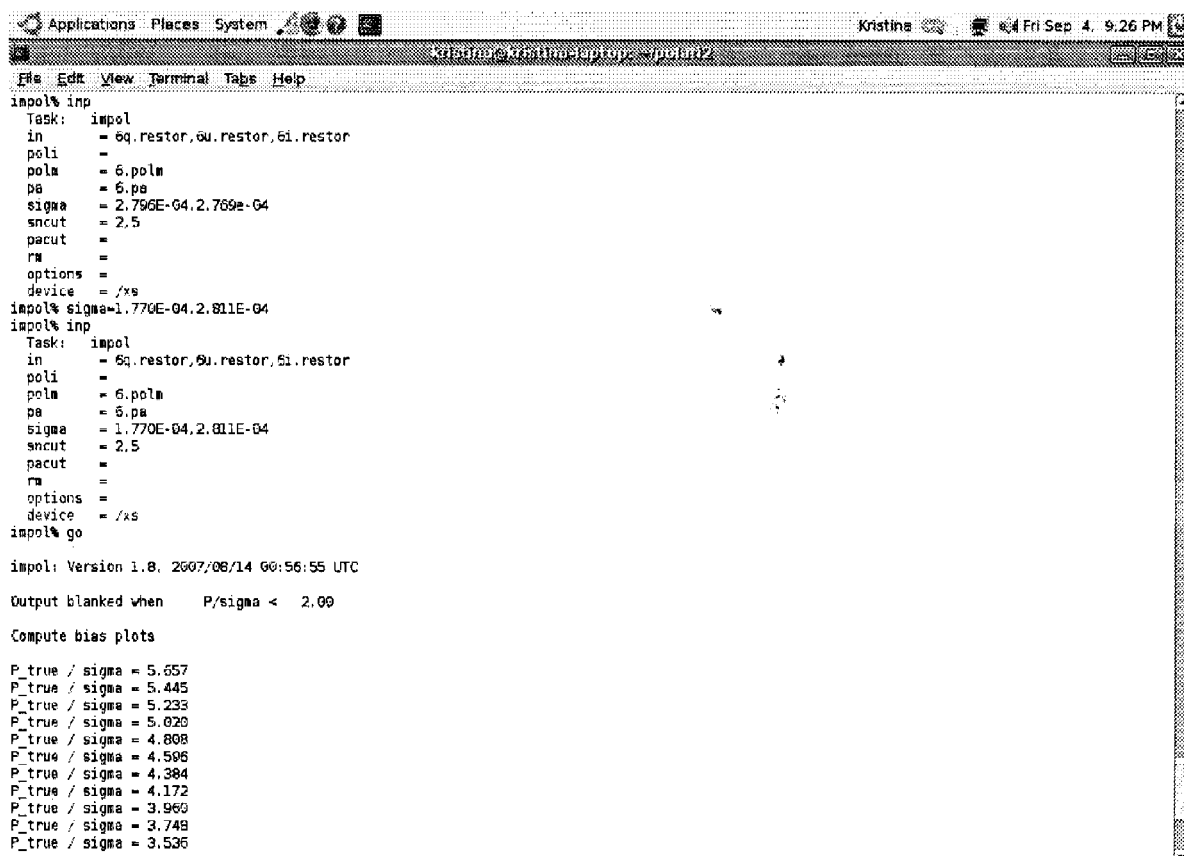
```

Slika 5.19. RESTOR



Slika 5.20. Slika koja se dobija nakon naredbe RESTOR. U centralnom delu slike je posmatrani objekat.

Čitav proces naredbi počev od INVERT-a, CLEAN-a i RESTOR-a se ponovi, da bi se kreirale slike Stoksovih parametara  $Q$  i  $U$  i upotrebile za formiranje slike linearne polarizacije. Potrebno je obraditi ove  $Q$  i  $U$  slike jer se preko njih formira slika koja pokazuje oblasti sa povišenim stepenom polarizacije. Odnosno formira se slika posmatranog SNR na kojoj su označeni regioni sa povišenom polarizacijom (Slika 6.6 u narednom poglavlju). Naredba IMPOL (Slika 5.21) koristi sada očišćene  $Q$ ,  $U$  i  $I$  slike da bi formirao sliku linearne polarizacije SNR na 6cm (Slika 5.22).



```
Applications Places System Kristina Fri Sep 4 9:26 PM
gibimung@miriadu:~/pulsar/pulsar2
File Edit View Terminal Tabs Help
impol% imp
Task: impol
in = 0q.restor,0u.restor,0i.restor
poli =
pola = 6.pola
pa = 6.pa
sigma = 2.756E-04,2.769e-04
sncut = 2.5
pacut =
ra =
options =
device = /xs
impol% sigma=1.770E-04,2.811E-04
impol% imp
Task: impol
in = 0q.restor,0u.restor,0i.restor
poli =
pola = 6.pola
pa = 6.pa
sigma = 1.770E-04,2.811E-04
sncut = 2.5
pacut =
ra =
options =
device = /xs
impol% go

impol: Version 1.8. 2607/08/14 00:56:55 UTC

Output blanked when P/sigma < 2.00

Compute bias plots

P_true / sigma = 5.657
P_true / sigma = 5.445
P_true / sigma = 5.233
P_true / sigma = 5.020
P_true / sigma = 4.808
P_true / sigma = 4.596
P_true / sigma = 4.384
P_true / sigma = 4.172
P_true / sigma = 3.960
P_true / sigma = 3.748
P_true / sigma = 3.536
```

Slika 5.21. Naredba IMPOL u miriadu. Iz očišćenih slika  $Q$ ,  $U$  i  $I$  Stoksovih parametara formira se slika linearne polarizacije.



```
Applications Places System Kristina Fri Sep 4, 9:32 PM
krstina@kristina-laptop: ~$ cgdisp
Task: cgdisp
in = 6i.restor, 6.pola, 6.pa
type = pix.amp,ang
region = abspix.box(220, 290, 300, 300)
xybin =
chan =
slev =
levs1 =
levs2 =
levs3 =
cols1 =
range =
vectfac = 1.1,1.1
boxfac =
device = polplot.ps/cps
nxy =
labtyp = hms,dms
beamtyp = b,l
options = wedge.full
3format =
lines =
break =
csize =
scale =
olay =
cgdisp% go
CgDisp: version 29-Jan-02

Assuming E & N to the left and top
Character sizes (axes & velocity) are: 1.0, 1.0
Linear x and y scales per mm = 2.160050E-05, 2.160050E-05
Beginning plane 1
Finding image minimum and maximum
Tabulating linear black and white table
cgdisp% device=/xs
cgdisp% go
CgDisp: version 29-Jan-02

Assuming E & N to the left and top
Character sizes (axes & velocity) are: 1.0, 1.0
Tabulating linear black and white table
cgdisp% device=/ps
cgdisp% go
```

Slika 5.22. U CGDISP-u detaljnijim podešavanjima crtaju se polarizacioni vektori i sintetizovan snop.

## 6. Rezultati i diskusija

Ostatak supernove ima ljuskastu morfologiju. Primećena je izduženost u pravcu sever-jug, kao i da poseduje izbočinu sa zapadne strane. Koordinate centra, rektascenzija i deklinacija, su:

$$RA(J2000) = 04^h 50^m 33.4^s$$

$$DEC(J2000) = -70^{\circ} 50' 43.5''$$

Veličina ove SNR je  $420'' \times 310'' \pm 5''$  ( $7' \times 5.16'$ ) što je u relativnom slaganju sa optičkom veličinom koju mere Williams i autori (2004)  $6.5' \times 4.7'$ . Neka je  $d$  rastojanje do SNR i iznosi 50000 pc, neka je  $\alpha$  uglovni prečnik SNR  $420'' \times 310''$  tada se radijus SNR (u parsecima) računa na sledeći način:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{r}{d}$$

$$r = d \times \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$r_1 = 50000 \text{ pc} \times \tan \frac{420''}{2} = 50000 \text{ pc} \times \tan 210'' = 50.9 \text{ pc}$$

$$r_2 = 50000 \text{ pc} \times \tan \frac{310''}{2} = 50000 \text{ pc} \times \tan 155'' = 37.6 \text{ pc}$$

Kako su dobijene vrednosti za  $r_1$  i  $r_2$  radijusi, sledi da prečnik SNR iznosi  $D = 101.8 \times 75.2 \pm 1 \text{ pc}$ .

Merenje gustine fluksa izvršeno je na talasnoj dužini od 6 cm (4.8 GHz) i iznosi 0.448 Jy.

Takođe su vršena nova merenja na 0.843 GHz (LMC MOST, Slika 6.4), 1.4 GHz, 8.64 GHz (mosaic slike prezentovane u radu Filipovića i autora, 2009 i Hughes i autori, 2007). Koristeći vrednosti gustine fluksa dobijene sa posmatranih frekvencija date u Tabeli 2. na Slici 6.1. prikazan je grafik zavisnosti frekvencije od gustine fluksa, gde se dobijena vrednost spektralnog indeksa ostatka supernove procenjuje na  $\alpha = -0.43 \pm 0.06$ . Dobijena vrednost spektralnog indeksa potvrđuje netermalnu prirodu ovog objekta kod koga je još uvek dominantan netermalni mehanizam zračenja.

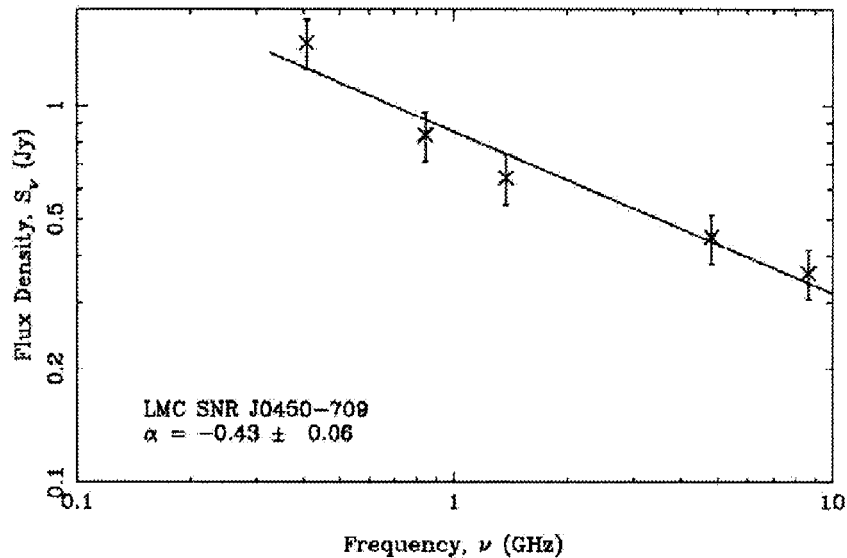
Tabela 2. Integrisane vrednosti gustine fluksa SNR 0450-709

	$S_I$ (0.408 GHz)	$S_I$ (0.843 GHz)	$S_I$ (1.4 GHz)	$S_I$ (4.8 GHz)	$S_I$ (8.64 GHz)
SNR J0450-709	1470 mJy	837.3 mJy	643.7 mJy	448 mJy	360 mJy
Reference	Clarke i autori, 1976	Mills i autori, 1984	Ovaj rad	Ovaj rad	Ovaj rad

Korišćen je linearan fit (log frekvencija vs log gustina fluksa) radi dobijanja vrednosti spektralnog indeksa  $-0.43$  (definisan kao  $S \propto \nu^\alpha$ , predstavljen je na Slici 6.1) koji je nešto "ravniji" u poređenju sa tipičnom i očekivanom vrednošću od  $-0.5$  za SNRs (Mathewson i autori, 1985).

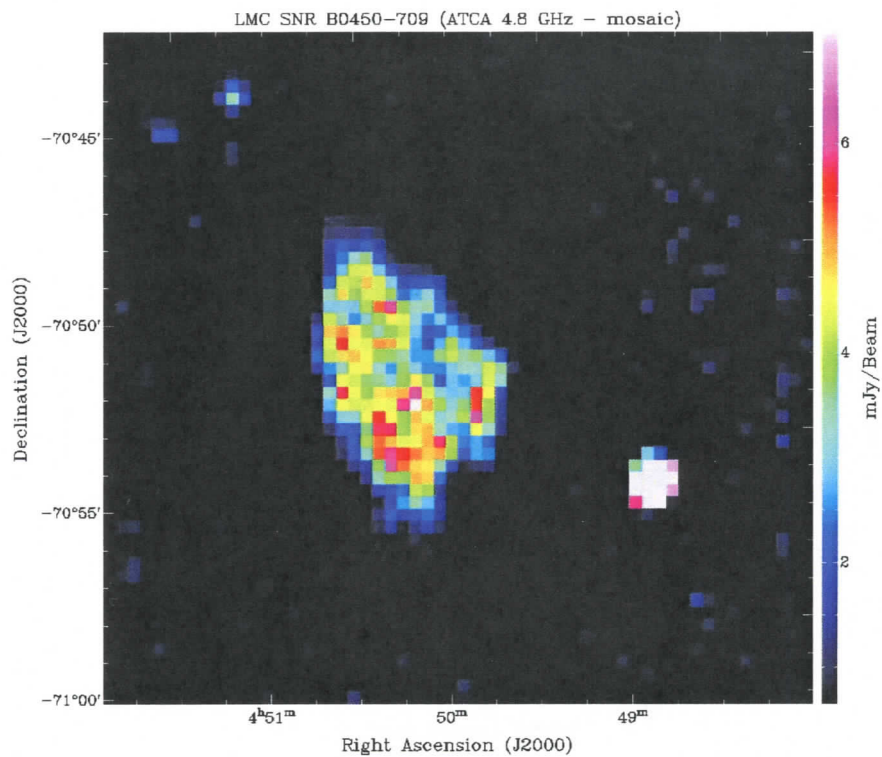
Urošević i Pannuti (2005) su u svom radu prikazali modele za dva slučaja kada SNRs mogu proizvesti značajnu količinu termalne emisije i dalje diskutovali o doprinosu te termalne emisije na sam izgled spektralnog indeksa u radio kontinuumu. Urošević i Pannuti (2005) došli su do "ravnije" empirijske  $\Sigma$ -D relacije koja je u dobrom slaganju sa prethodno modifikovanim relacijama koje su dobijene teorijskim putem. Razlike između  $\Sigma$ -D relacija koje su teorijskim i empirijskim putem dobijene mogu se bar em jednim delom objasniti uzimajući u obzir termalnu komponentu zračenja SNRs na radio frekvencijama koje se nalaze u pojedinom evolucionim fazama kao i u određenim okruženjima. U slučaju posmatranog objekta LMC SNR 0450-709 ovo ukazuje na starost ostatka, gde doprinos termalne komponente može biti od značaja, slično kao u primeru prikazanom u radovima Urošević i autori (2007) i Onić & Urošević (2008). Takođe LMC SNR 0450-709 najverovatnije se nalazi u gušćoj  $n \sim 1-10 \text{ cm}^{-3}$  i toplijoj sredini. Opšte je poznato da na većim frekvencijama gustina fluksa SNRs opada, što se može videti na Slici 6.1.

Odstupanje vrednosti na 408 MHz (Tabela 2; Slika 6.1.) koja je pomenjena od linije za fit, najverovatnije je zbog toga što je ta vrednost produkt obrade podataka iz 1970-ih godina. Takođe se prmaćuje odstupanje još dveju vrednosti i to na frekvencijama od 843 MHz i 1400 MHz koje su malo pomenjene od linije za fit. Ovakav ishod objašnjava efekat 'missing short spacings'. Da bi se eliminisao gubitak gustine fluksa podleže se kombinovanjem podataka dobijenih sa interferometra i jednoantenskog teleskopa. S obzirom da je veliki prostor između prve i druge antene, pa pomenutim kombinovanjem sa jednoantenskim teleskopom kao što je Parkes 64-m, može se donekle popuniti ta praznina. Kako ostaci supernovih ne spadaju u tačkaste izvore već u rasprostrte (*eng. extended*), ovaj efekat je utoliko izraženiji i u 99% slučajeva uvek prisutan. Greške gustine fluksa sa svih ATCAosaic slika korišćene u ovoj studiji (prikazane dalje u tekstu) su manje od 10% za svaku frekvenciju pojedinačno. Frekvencije na kojima su merenja vršena date su u tabeli 2. zajedno sa rezultujućim integrisanim gustinama fluksa.

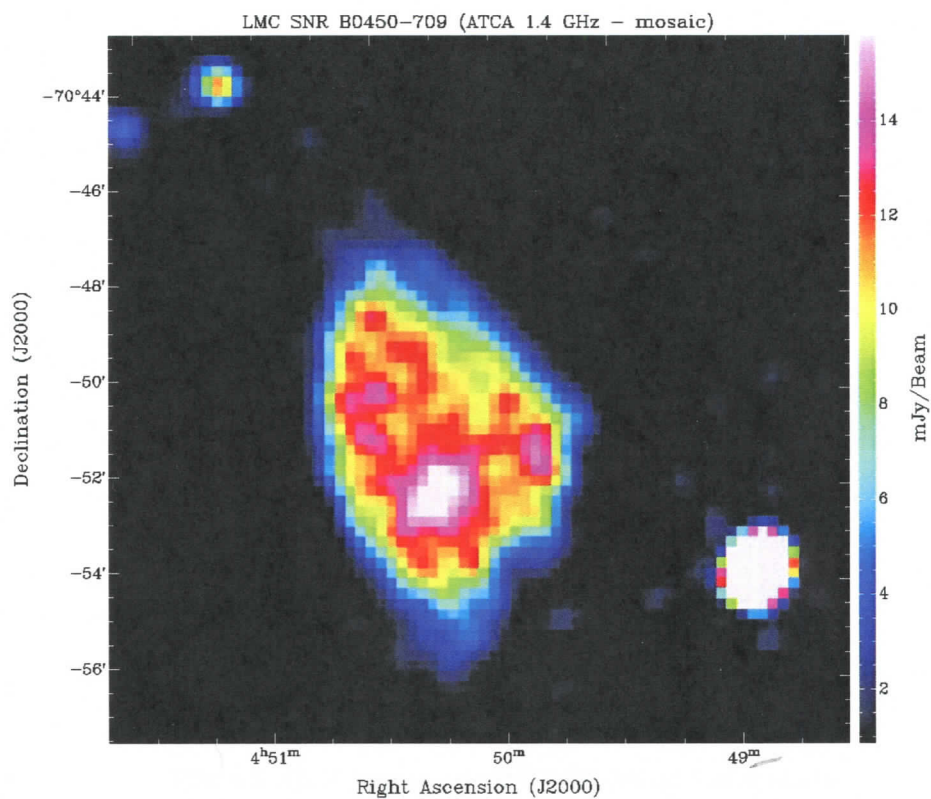


Slika 6.1 Radio kontinuum spektar SNR J0450-709

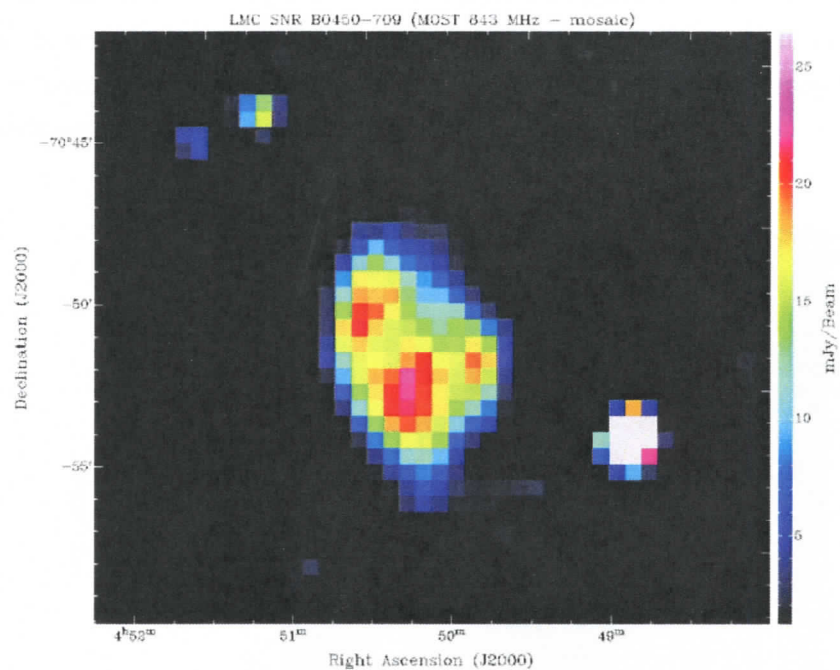
Multifrekvenciona sinteza je tehnika koja se služi merenjima dobijenih sa različitim posmatračkih frekvencija prilikom formiranja slike u radio interferometarskoj aperturnoj sintezi. Ova tehnika pospešuje pokrivenost pregleda  $u$ - $v$  polja instrumenta. Koordinate  $u$ - $v$  ravni izražene su u jedinicama talasnih dužina. Interferometar je uređaj koji služi za merenje funkcije prostorne koherentnosti, koja predstavlja funkciju vidljivosti  $V(u, v)$  u  $u$ - $v$  ravni koja je vezana za mesto na kom se nalazi interferometar. Na Slikama 6.2, 6.3 i 6.4 prikazan je izgled LMC SNR B0450-709 na frekvencijama od 4800 MHz, 1400 MHz i 843 MHz, respektivno. Ovo su mosaic slike koje su nastale preklapanjem primarnih snopova teleskopa. Na svakoj slici je sa desne strane data skala koja predstavlja vrednost piksela i data je u jedinicama mJy/beam. Primećuje se da je kod SNR u kontinuumu (1400 MHz) jasnije izražen slojevit rast vrednosti gustine fluksa/beam (piksela) gledajući od samog ruba SNR ka njenom centru u relativno pravilnim intervalima. Slika 6.4 potiče sa MOST (Molonglo Observatory Synthesis Telescope) na 843 MHz. Vrednost piksela najveća je u unutrašnjosti SNR.



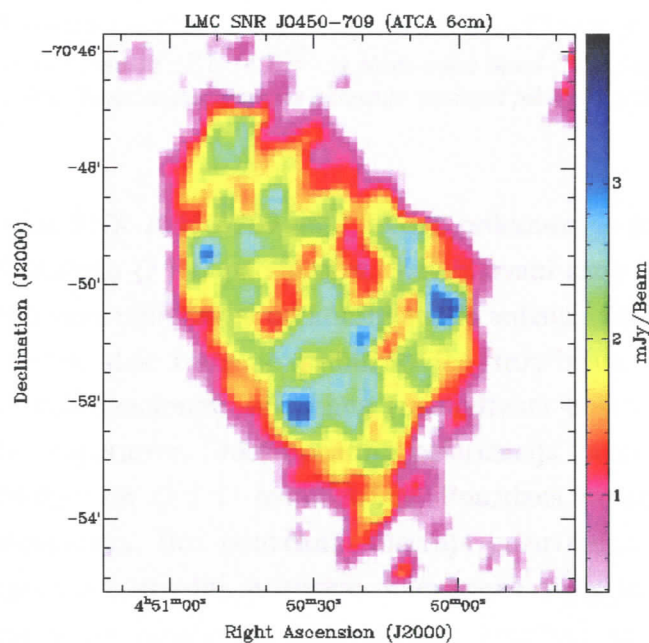
Slika 6.2. ATCA posmatranja SNR 0450-709 na 6cm (4.8GHz). Skala sa desne strane pokazuje vrednost piksela u jedinicama mJy/beam.



Slika 6.3. ATCA posmatranja SNR 0450-709 na 20cm (1.4 GHz). Skala sa desne strane pokazuje vrednost piksela u jedinicama mJy/beam.



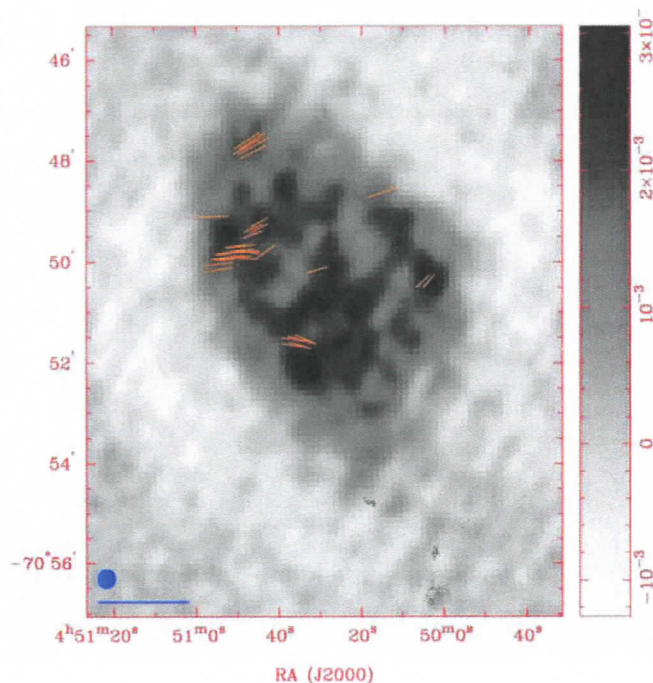
Slika 6.4. SNR 0450-709 na 843MHz, MOST. Skala sa desne strane pokazuje vrednost piksela u jedinicama mJy/beam.



Slika 6.5. ATCA posmatranja SNR 0450-709 na 6cm (4.8GHz). Skala sa desne strane pokazuje vrednost piksela u jedinicama mJy/beam.



Na slici 6.5. su rezultati dobijeni sa ATCA posmatranja SNR 0450-709 na 4800 MHz. Primećuje se povećana vrednost gustine fluksa po snopu u izvesnim regionima u odnosu na ceo ostatak supernove. Oblasti sa povećanom vrednošću u iznosu od oko 3 mJy/beam javljaju se u severo-zapadnom, jugo-zapadnom i istočnom delu ostatka supernove.

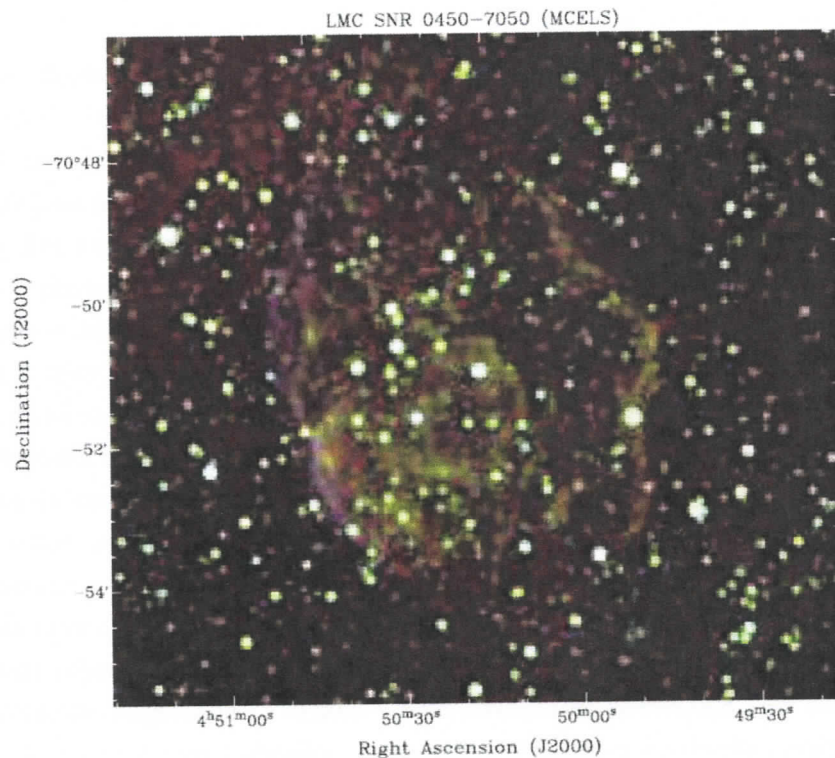


Slika 6.6. ATCA posmatranja SNR 0450-709 na 6cm (4.8 GHz). Plavi krug u donjem levom uglu predstavlja sintetizovan snop od  $21'' \times 19''$ , a plava linija ispod kruga je polarizacioni vektor u vrednosti od 100%. Skala sa desne strane pokazuje vrednost piksela u jedinicama Jy/beam.

Linearna polarizacija SNR J0450-709 na 4.8 GHz prikazana je na Slici 6.6. koja je formirana korišćenjem Stoksovih  $Q$  i  $U$  parametara. Sintetizovani snop koji je predstavljen plavim krugom u donjem levom uglu zavisi od konfiguracije antena i frekvencije na kojoj je izvršeno merenje (4.8 GHz), dok r.m.s je približno 0.5 mJy/beam. Oblasti delimične polarizacije prikazane su polarizacionim vektorima (narandžasta boja), uglavnom severo-zapadno od centra ostatka supernove. Slike linearnih polarizacija za svaku frekvenciju su formirane koristeći se Stoksovim  $Q$  i  $U$  parametrima. Pouzdana polarizacija na talasnoj dužini od 3 cm nije detektovana. Bez pouzdanih merenja polarizacije na kraćoj talasnoj dužini, nije bilo u mogućnosti utvrditi prisustvo Faradejeve rotacije. Srednja vrednost delimične polarizacije na 6 cm izračunata je u miriadi koristeći se gustinom fluksa i polarizacije prema sledećoj relaciji:

$$P = \frac{\sqrt{S_Q^2 + S_U^2}}{S_I} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

gde su  $S_Q$ ,  $S_U$  i  $S_I$  integrisane vrednosti za  $Q$ ,  $U$  i  $I$  Stoksove parametre. Maksimalna vrednost polarizacije procenjuje se da iznosi oko  $P \approx 40\%$ .



Slika 6.7 Optička slika (MCELS) SNR 0450-709. ( $RGB = H_{\alpha}, [SII], [OIII]$ ).

Optička slika SNR J0450-709 nastala je kao kompozicija emisije zračenja na talasnim dužinama  $H_{\alpha}$  linije vodonika (crvena), jednom jonizovanog sumpora (zelena) i dvostruko jonizovanog kiseonika (plava). Optička slika (Slika 6.7) preuzeta je od MCELS, Magellanic Clouds Emission Line Survey.

Rezultati koji su dobijeni ATCA posmatranjima SNR J0450-709 u Velikom Magelanovom oblaku jesu slike 6.1 - 6.6, zatim izmerena je vrednost spektralnog indeksa koja iznosi  $\alpha = -0.43 \pm 0.06$  i dijametra  $D = 101.8 \times 75.2 \pm 1$  pc. Detektovan je relativno visok stepen polarizacije sa maksimalnom vrednošću od 40%. Sve navedene dobijene vrednosti ukazuju da je LMC SNR 0450-709 stariji ostatak supernove.



## 7. Zaključak

Različiti objekti emituju zračenje u različitom delu elektromagnetnog spektra. Od velike je važnosti posmatrati objekte na svim talasnim dužinama jer se time dobijaju celokupne informacije o zračenju tog objekta. Tada upoznajući se sa tipom zračenja i upoređujući dobijene informacije sa različitim talasnim dužina, u zavisnosti od toga na kojima posmatrani objekat zrači, otkrivaju se i objašnjavaju različite pojave koje karakterišu sam objekat. Radio posmatranja su izuzetno bitna prilikom proučavanja novih SNR, jer omogućuju njihovu detekciju.

Zvezda u toku svog života počevši od vodonika, kasnije helijuma, stvara sve teže i teže elemente, da bi na kraju prilikom eksplozije rasula sav svoj materijal po kosmosu i na taj način ga distribuirala dalje u svemir. Važnost u proučavanju supernovih ogleda se između ostalog u saznanju porekla hemijskih elemenata koji su važani za život, a bitne su i zbog nukleosinteze teških elemenata. Na taj način dolazi se do nekih saznanja vezanih za istoriju nastanka Kosmosa.

U ovom radu analiziran je jedan od najvećih ostataka supernovih u Lokalnoj Grupi Galaksija. Predstavljeni su novi ATCA radio-kontinuum rezultati posmatranja ostatka supernove u Velikom Magelanovom oblaku – SNR J0450-709. Iz merenja koja su izvršena u radio domenu, kao i analizom i obradom podataka, dobijene su vrednosti parametara koje karakterišu ovu SNR. Zaključeno je da ovaj ostatak supernove ima ljuskastu morfologiju koja je tipična za ovu vrstu objekata sa radio-spektralnim indeksom od  $\alpha = -0.43 \pm 0.06$  i prečnikom od  $101.8 \times 75.2 \pm 1$  pc. Detektovan je u proseku prilično visok nivo polarizacije u maksimalnom iznosu od  $P \approx 40\%$ .

## Literatura:

- Badenes, C., *Light from the Ashes: Supernovae, Supernova Remnants and X-ray Astronomy*  
Blair, W., <http://adsabs.harvard.edu/abs/2001hst..prop.9080B>, 2001
- Blair, W.P., Ghavamian, P., Sankrit, R. & Danforth, C.W., arXiv:astro-ph/0605508v1 19  
May, 2006.
- Bojičić, I.S., Filipović, M.D., Parker, Q.A., Payne, J.L., Jones, P.A., Reid, W., Kawamura, A.  
& Fukui, Y., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 378, 1237-1247, 2007.
- Clarke, J.N., Little, A.G. & Mills, B.Y, *Aust. J. Phys. Astrophys. Suppl.*, No 40, 1-71, 1976.
- Crawford, E.J., Filipovic, M.D., & Payne J.L., *Serb. Astron. J.* No 176, 59-63, 2008
- Crawford, E.J., Filipovic, M.D., De Horta, A.Y., Stootman, F.H. & Payne J.L., *Serb. Astron.  
J.* No 177, 61-66, 2008
- Dickel, J.R. & Milne, D.K., *The Astronomical Journal* , 109, No 1., January 1995
- Dickel, J.R. & Milne, D.K., *Proceedings ASA*, 11 (2) 99-109, 1994
- Dopita, M.A. & Sutherland, R.S., *Diffuse Matter in the Universe*, Springer-Verlag, 2001
- Dyer, K. K., *Thermal and Non-Thermal Emission in Supernova Remnants*. PhD thesis,  
AA(North Carolina State University), 2001.
- Dwek, E., Petre, R., Szymkowiak, A. & Rice, W. L., *Astrophysical Journal*, 320, L27-L33,  
1987.
- Fesen, R. A., Blair, W. P., & Kirshner, R. P., *Astrophysical Journal*, 292, 29-48, 1985.
- Filipović, M.D., Haynes, R.F., White, G.L., Jones, P.A., Klein U. & Wielebinski, R.,  
*Astron., Astrophysical Journal Supplement Series* 111, 311-332, June 1, 1995.
- Filipović, M.D., White, G.L., Haynes, R.F., Jones, P.A., Meinert, D., Wielebinski, R. & Klein  
U., *Astron. Astrophysical Journal Supplement Series* 120, 77-81, November II, 1996.
- Filipovic, M. D., Jones, P. A., White, G. L., Haynes, R. F., Klein, U. & Wielebinski, R., *A &  
A Supplement series*, Vol. 121, February, 321-326, 1997.
- Filipović, M.D., Pietsch, W., Haynes, R.F., White, G.L., Jones, P.A., Wielebinski, R., Klein  
U., Dennerl, K., Kahabka, P. & Lazendić, J.S., *Astron. Astrophysical Journal  
Supplement Series*, 127, 119-138, January II, 1998a.
- Filipović, M. D., Haynes, R. F., White, G. L., Jones, P. A.: *Astron. Astrophys. Journ. Suppl.  
Ser.* 130, 421, 1998b.
- Filipović, M.D. & Staveley-Smith, *The Magellanic Clouds and Other Dwarf Galaxies*,  
*Proceedings of the Bonn/Bochum-Graduiertenkolleg Workshop*, held at the  
*Physikzentrum Bad Honnef, Germany*, January 19-22, 1998, Eds.: T. Richtler and  
J.M. Braun, Shaker Verlag, Aachen, ISBN 3-8265-4457-9, p. 137-140, 1998c.
- Filipović, M.D., *The MCs in radio – continuum: overview of their history, surveys, structure  
and objects*, [http://www.atnf.csiro.au/research/LVmeeting/magsys\\_pres/miroslav.pdf](http://www.atnf.csiro.au/research/LVmeeting/magsys_pres/miroslav.pdf)
- Filipović, M.D., *Astronomija na svim talasima*, Spremo, 2007.

- Filipović, M. D., Crawford E. J., Hughes A., Leverenz H., de Horta A. Y., Payne J. L., Staveley-Smith L., Dickel J. R., Stootman F. H., White G. L.: in van Loon J. T., Oliveira J. M., eds, IAU Symposium Vol. 256 of IAU Symposium, pp PDF8, 2009.
- Gaensler, B. M., Hendrick, S. P., Reynolds, S. P. & Borkowski, K. J., *The Astrophysical Journal*, 594, L111–L114, September 10, 2003.
- Gaensler, B.M. & Slane, P.O., <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0601081v1>, 2006.
- Gooch, R., *Karma Users Manual*, ATNF, Sydney, 2006.
- Haynes et al., *Astronomy & Astrophysics*, 252, 456-486, 1991.
- Hilditch, R. W., Howarth, I. D., Harries, T. J., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 357, 304, 2005.
- de Horta, A.Y., Phd at University of Western Sydney, July 2009.
- Hughes, A., Staveley-Smith, L., Kim, S., Wolleben, M. & Filipović, M., *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 382, 543-552, 2007
- Kassim, N.E., Hertz, P. & Weiler, K.W., *The Astrophysical Journal*, 419, 733-738, December 20, 1993.
- Leahy, D.A. & Aschenbach, B., *Astron. Astrophys.* 315, 260-264, 1996
- Mathewson, D. S. & Clarke, J. N., *The Astrophysical Journal*, 180, 725-738, 1973.
- Mathewson, D.S., Ford, V.L., Tuohy, I.R., Mills, B.Y., Turtle A.J. & Helfand, D.J., *The Astrophysical Journal Supplement Series* 58: 197-200, June, 1985.
- McGee, R.X., Brooks, J.W. & Batchelor, R.A., *Aust. J. Phys.*, 25, 581-97, 1972
- Mills, B. Y., Turtle, A. J., Little, A. G., Durdin, J. M., *Aust. J. Phys.*, 37, 321, 1984.
- Onić, D., Urošević D.: *SAJ*, 177, 67, 2008.
- Payne, J. L., White, G. L., Filipović, M. D., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 383, 1175, 2008.
- Reich, W., In Becker, W., Lesch, H., and Trumper, J., editors, *Neutron Stars, Pulsars, and Supernova Remnants*, 2002.
- Rho, J. & Borkowski, K.J., *The Astrophysical Journal*, 575: 201-206, August 1, 2002
- Rho, J. & Reach, W., In Arthur, J. and Henney, W. J., editors, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, volume 15 of *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, vol.27, 263-266, 2003.
- Rohlfs, K. & Wilson, T.L., *Tools of Radio Astronomy*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 1986
- Saken, J. M., Fesen, R. A., & Shull, J. M., *ApJS*, 81, 715-745, 1992.
- Sault, R., Killeen, N., *Miriad Users Guide*, ATNF, Sydney, 2006.
- Sault, R.J. & Wieringa, M.H., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 108, 585-594, 1994
- Sault, R. J., Staveley-Smith, L. & Brouw, W.N., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 120, 375-384, 1996.
- Sault, R., Killeen, N., *Miriad Users Guide*, ATNF, Sydney, 2006.
- Thompson, A.R., Moran, J.M. & Swenson, G.W., "Interferometry and synthesis in radio astronomy 2ed", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- Turatto, M., <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0301107v1>, 2003.
- Turatto, M., Benetti, S. & Pastorello, A., <http://arxiv.org/abs/0706.1086v1>, 2007.

- Urošević, D., Pannuti, T. G., *Astroparticle Physics*, 23, 577, 2005.
- Urošević, D., Pannuti, T. G., Leahy, D., *ApJL*, 655, L41, 2007.
- Urošević, D., Milogradov-Turin, J., *Teorijske osnove Radio-astronomije*, Matematički fakultet Beograd, 2007.
- van der Bergh, S., *The Astrophysical Journal*, 327, 156-163, 1988
- van der Marel, R.P. & Cioni, M-R.L., *Astronomical Journal*, 122, 1807-1826, 2001
- Vink, J., *Nuclear Physics B Proceedings Supplements*, 132, 21-30, 2004.
- Vukićević-Karabin, M., Atanacković-Vukmanović, O., *Opšta astrofizika*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2004.
- Weiler, K.W., Sramek, R.A., Panagia, N., van der Hulst, J.M. & Salvati, M., *The Astrophysical Journal*, 301, 790-812, Feb 15, 1986.
- Williams, R.M., Chu, Y.H., Dickel, J.R., Gruendl, R.A., Shelton, R., Points, S.D. & Smith, R.C., *The Astrophysical Journal*, 613: 948-955, October 1, 2004.
- Wright, A.E., Griffith, M.R., Burke, B.F. & Ekers, R.D., *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 91, 111-308, 1994.
- Williams, R. M., Chu, Y.-H. & Gruendl, R., *The Astronomical Journal*, 132, 1877–1889, 2006.
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- <http://www.mrao.cam.ac.uk/surveys/snrs/index.html>
- [http://www.astro.uiuc.edu/projects/atlas/lmc\\_snr\\_pgs/0450-709/index](http://www.astro.uiuc.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/0450-709/index)
- [http://www.astro.illinois.edu/projects/atlas/lmc\\_snr\\_pgs/lmctable.html](http://www.astro.illinois.edu/projects/atlas/lmc_snr_pgs/lmctable.html)
- [http://wwwastro.msfc.nasa.gov/Ch4/Ch4\\_03-10\\_Hendrick.pdf](http://wwwastro.msfc.nasa.gov/Ch4/Ch4_03-10_Hendrick.pdf)



## Biografija



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

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

Tokom studija učestvovala je na međunarodnim konferencijama fizike ICPS-a (International Conference for Physics Students). Godine, 2007. pohađala je međunarodnu zimsku školu astrofizike SIWA (Split International Winter School of Astrophysics) u Splitu (19.02.2007 – 03.03.2007). Izlagala je svoj diplomski rad u Londonu na konferenciji ICPS-a koja je održana avgusta 2007 godine.

Diplomirala je 06.07.2007. godine na Departmanu za fiziku sa ocenom diplomskog rada 10 i sa prosečnom ocenom studiranja 9,34.

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

Od oktobra meseca 2007. godine drži vežbe studentima astronomije na predmetima Sunčev sistem i Obrada astronomskih posmatranja u zvanju istraživač – pripravnik na smeru Astronomija sa Astrofizikom na Departmanu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu.

Spisak objavljenih radova:

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

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

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

Mentor: dr Slobodan Ninković, Astronomska observatorija Beograd

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

Mentor: dr Slobodan Ninković, Astronomska observatorija Beograd

**Čajko K:** "View of the Milky Way through the Sun's neighbourhood", International Conference for Physics Students XXII, August 2007., Univeristy College London, Conference Handbook, London, United Kingdom, p. 36., Abstract book.

Mentor: dr Slobodan Ninković, Astronomska observatorija Beograd

**Čajko K, Filipović M. D.:** "Stari ostaci eksplozija supernova", Astronomija časopis, br. 33., IX-X 2008, Spremo, Novi Sad. Str. 32-42.

Stojanović B.D., Fojkar O.O., Drobac Čik, V.A., **Čajko O.K.**, Dulić I.T. & Svirčev B.Z., Extremophiles - Link between Earth and astrobiology, Zbornik Matice srpske za prirodne nauke / Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad, No 114, 5—16, 2008.



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

Monografska dokumentacija

**TD**

*Tip zapisa:*

Tekstualni štampani materijal

**TZ**

*Vrsta rada:*

Master rad

**VR**

*Autor:*

Kristina Čajko

**AU**

*Mentor:*

Prof. dr Miroslav Filipović, prof. dr Svetlana Lukić-Petrović

**MN**

*Naslov rada:*

Multifrekvenciona posmatranja jednog od najvećih ostataka supernovih u Lokalnoj Grupi Galaksija – LMC SNR 0450-709

**NR**

*Jezik publikacije:*

srpski (latinica)

**JP**

*Jezik izvoda:*

srpski/engleski

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

Republika Srbija

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

Vojvodina

**UGP**

*Godina:*

2009

**GO**

*Izdavač:*

Autorski reprint

**IZ**

*Mesto i adresa:*

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

**MA**

*Fizički opis rada:*

broj poglavlja -7, broj strana - 69, broj referenci - 65, broj  
tabela – 2, broj slika - 47, broj priloga - 0

**FO**

*Naučna oblast:*

Astronomija

**NO**

*Naučna disciplina:*

Radio astronomija

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne  
reči:*

MZM: ostaci supernovih - Magleanovi Oblaci – SNR J0450-  
709

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

**ČU**

*Važna napomena:*

nema

**VN**

*Izvod:*

U ovoj studiji predstavljani su novi ATCA radio-kontinuum rezultati posmatranja ostatka supernove u Velikom Magelanovom oblaku – SNR J0450-709. Nađeno je da ovaj ostatak supernove ima ljuskastu morfologiju, koja je tipična za ovu vrstu objekata. Izmerena vrednost spektralnog indeksa

**IZ**

iznosi  $\alpha = -0.43 \pm 0.06$ , a dijametra  $D = 101.8 \times 75.2 \pm 1$  pc. Detektovan je relativno visok stepen polarizacije sa maksimalnom vrednošću od 40%.

*Datum prihvatanja teme od NN*

*veća:*

**DP**

*Datum odbrane:*

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:*

*član:*

*član:*

*član:*

dr Božidar Vujičić, redovni profesor Prirodno - matematičkog fakulteta u Novom Sadu

dr Svetlana Lukić-Petrović, redovni profesor Prirodno – matematičkog fakulteta u Novom Sadu

dr Miroslav Filipović, vanredni profesor na Univerzitetu Western Sydney

dr Dejan Urošević, vanredni profesor Prirodno - matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*  
**ANO**

*Identification number:*  
**INO**

*Document type:* Monograph publication  
**DT**

*Type of record:* Textual printed material  
**TR**

*Content code:* Master thesis  
**CC**

*Author:* Kristina Čajko  
**AU**

*Mentor/comentor:* Prof. dr Miroslav Filipović, prof. dr Svetlana Lukić-Petrović  
**MN**

*Title:* Multifrequency observations of one of the largest supernova  
**TI** remnants in the Local Group of Galaxy LMC SNR 0450-709

*Language of text:* Serbian (Latin)  
**LT**

*Language of abstract:* English  
**LA**

*Country of publication:* Republic of Serbia  
**CP**

*Locality of publication:* Vojvodina  
**LP**

*Publication year:* 2009  
**PY**

*Publisher:* Author's reprint  
**PU**

*Publication place:* Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića  
**PP** 4, Novi Sad

*Physical description:* Chapters - 7, pages - 69, references - 65, tables - 2, figures  
**PD** and graphs - 47, appendices - 0

*Scientific field:* Astronomy  
**SF**

*Scientific discipline:* Radio-astronomy  
**SD**

*Subject/ Key words:* ISM: supernova remnants – Magellanic Clouds – ISM:  
**SKW** polarization - ISM: individual objects: SNR J0450-709

**UC**

*Holding data:* Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4  
**HD**

*Note:* none  
**N**

*Abstract:*  
**AB** This work presents the results of new ATCA observations of SNR J0450-709 in the Large Magellanic Cloud. It was found that this SNR exhibits a typical morphology with diameter  $101.8 \times 75.2 \pm 1$  pc and  $\alpha = -0.43 \pm 0.06$ . Regions of high polarisation were detected, with peak value of  $\sim 40\%$ .

*Accepted by the Scientific  
Board:*

**ASB**

*Defended on:*

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President:*

dr Božidar Vujičić, full professor of Faculty of Science  
and Mathematics, University of Novi Sad

*Member:*

dr Svetlana Lukić-Petrović, full professor of Faculty of Science  
and Mathematics, University of Novi Sad

*Member:*

dr Miroslav Filipović, associate professor of Computational  
Astrophysics, Imaging & Simulation  
School of Computing & Mathematics  
University of Western Sydney

*Member:*

dr Dejan Urošević, associate professor of Faculty of  
Mathematics, University of Belgrade