



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Potraga za ostacima supernovih u galaksiji **NGC55**

- MASTER RAD -

Mentor:

Dr TIJANA PRODANOVIĆ
Dr MIROSLAV FILIPOVIĆ

Kandidat:

KOTUŠ SRĐAN

Novi Sad, 2012

Ovom prilikom želim da se zahvalim svima koji su mi pomogli da uradim ovaj diplomski rad. Kao prvo to su moji mentorи profesor dr Miroslav Filipović koji mi je pomogao oko izbora teme i analize podataka i profesorica dr Tijana Prodanović koja mi je pomogla svojim sugestijama vezanim za rad. Takođe bih želeo da se zahvalim saradnicima profesora Filipovića Ain De Horti i Evan Crawfordu koji su mi pomogli oko korišćenja softvera i mom prijatelju Adamu Fainu koji mi je pomogao prilikom instalacije softvera. Zahvalio bih se svima sa katedre za nuklearnu fiziku i profesorima sa ostalih katedri kolegama i svim svojim prijateljima koji su bili uz mene dok sam studirao i pisao master rad! Pored toga zahvaljujem se i svojoj porodici, mojoj suprugi Ani i sinu Anakinu, bez čijeg razumevanja i ljubavi sigurno ne bih uspeo da završim master studije i rad.

Kotuš Srdjan
22.08.2012.

SADRŽAJ

1.	ABSTRAKT	1
2.	UVOD	2
3.	MEHANIZMI STVARANJA RADIO-ZRAČENJA U KONTINUUMU	3
3.1.	SINHROTRONSKO ZRAČENJE	3
3.2.	ZAKOČNO ZRAČENJE	7
3.3.	INVERZNO KOMPTONOVO RASEJANJE.....	10
3.4.	ZRAČENJE CRNOG TELA.....	10
4.	RADIO IZVORI U ASTRONOMIJI.....	11
4.1.	GALAKSIJE	11
4.2.	HII REGIONI.....	12
5.	SUPERNOVE I OSTATCI SUPERNOVIH	13
5.1.	PODELA SUPERNOVIH.....	14
5.2.	OSTATCI SUPERNOVIH.....	15
5.2.1.	Klasifikacija supernova ostataka	15
5.2.2.	Faze kod ostataka supernovih	16
5.2.3.	Posmatranje ostataka supernovih na različitim frekvencijama	17

6.	GALAKSIJA NGC 55	19
7.	OBRADA PODATAKA	20
7.1.	POSMATRAČKI PODACI	20
7.1.1.	ATCA	21
7.2.	MIRIAD	22
7.2.1.	Kalibracija	25
7.2.2.	Dobijanje slika i dekonvolucija	36
7.2.3.	Određivanje gustine fluksa i spektralnog indeksa galaksije	41
7.3.	KARMA	45
7.3.1.	Identifikacija i klasifikacija radio izvora u galaksiji	48
8.	REZULTATI I DISKUSIJA	52
9.	ZAKLJUČAK	57
10.	LITERATURA	58

1. ABSTRAKT

U ovoj studiji formirane su radio-kontinuum ($\lambda = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 13 \text{ cm}$, $\lambda = 6 \text{ cm}$ i $\lambda = 3 \text{ cm}$) mozaik slike galaksije NGC 55 korišćenjem arhiviranih posmatračkih podataka sa Australia Telescope Compact Array (ATCA). Ove nove slike su visoke osetljivosti ($\sigma < 0.6 \text{ mJy}$). Na slikama je primećena proširena radio-kontinuum emisija, koja ne odgovara njenom optičkom izgledu. Korišćenjem ovih novo kreiranih slika detektovan je veliki broj diskretnih izvora i oni su klasifikovani na osnovu njihovog spektralnog indeksa. Identifikovano je 24 objekta od kojih su 5 novi predloženi ostaci supernovih.

2. UVOD

Galaksija NGC 55 koja pripada grupi nepravilnih galaksija sa prečagom nalazi se na ~ 1.9 Mpc [1] i po tome je jedna od najbližih galaksija u bliskoj Sculptor grupi. Ova blizina je prednost jer omogućuje veoma detaljno istraživanje, pa u njoj možemo detektovati veliki broj izvora elektromagnetskog zračenja među kojima su i ostaci supernovih (SNR-s). Prethodne studije NGC 55 u radio domenu ([2], [3]) se uglavnom odnose na mapiranje neutralnog vodonika. Osnovni ciljevi ovog rada su:

- Detekcija proširene emisije iz NGC 55
- Merenje gustine fluksa galaksije
- Detekcija i klasifikacija svih objekata na posmatranim frekvencijama

Klasifikacija nam je značajna, jer na osnovu nje možemo utvrditi koji je tip objekta detektovan i omogućuje osnovu za deteljnija istraživanja ovih objekata. Takođe nam je značajno da utvridimo broj SNR u galaksiji, jer na osnovu tog broja možemo utvrditi učestalost supernova eksplozija koja je u korelaciji sa učestalošću formiranja zvezda (SFR). SFR je jedan od najznačajnijih parametara u astrofizici. Veza između SFR i učestalosti supernovih je u nekim skorašnjim studijama dovedena u pitanje [4]. Kako se ove studije uglavnom oslanjaju na posmatranja supernovih u optičkom domenu, pronalaskom novih SNR u radio domenu ćemo moći da utvrdimo da li postoje neke supernove koje se ne mogu detektovati optički nego samo u radio domenu, što će nam pomoći u razumevanju korelacije između učestalosti formiranja zvezda i učestalosti supernovih.

Dok sledeće generacije radio teleskopa, kao što su Australian Square Kilometre Array Pathfinder (ASKAP), Karoo Array Telescope (KAT & MeerKAT) i Square Kilometre Array (SKA), ne počnu sa radom ograničeni smo na već postojeća posmatranja. U ovom radu, je ispitana većina postojećih arhiviranih posmatranja u radio kontinuumu sa ATCA na $\lambda = 20$ cm ($\nu = 1.4$ GHz), $\lambda = 13$ cm ($\nu = 2.38$ GHz), $\lambda = 6$ cm ($\nu = 4.8$ GHz) i $\lambda = 3$ cm ($\nu = 8.64$ GHz) sa namerom da se posmatranja na svakoj od frekvencija sjedine u jedinstvenu radio sliku. Kombinovanjem velikog broja postojećih podataka i korišćenjem novije generacije kompjutera u mogućnosti smo da kreiramo nove slike koje imaju i osobinu visoke uglovne rezolucije i odličnu osetljivost. U radu su analizirane nove slike i diskutovana je razlika između različitih slika. Takođe su detektovani objekti u vidnom polju galaksije i izvršena je njihova klasifikacija.

U odeljku 3. je kratak pregled mehanizama odgovornih za stvaranje radio-zračenja u kontinuumu. U odeljku 4. je dat pregled astronomskih izvora koji zrače u radio domenu, a koji su povezani sa ovim radom, a u odeljku 5. će detaljnije biti opisane supernove i njihovi ostaci. Nakon toga prelazimo na kratak opis galaksije NGC 55, obradu podataka, rezultate i diskusiju i na kraju zaključak u odeljcima 6., 7., 8. i 9., respektivno.

3. MEHANIZMI STVARANJA RADIO-ZRAČENJA U KONTINUUMU

Najbitniji mehanizmi putem kojih se stvara radio zračenje u kontinuumu su:

1. Sinhrotronsko zračenje ili magnetno-bremštralung zračenje, koje je netoplotnog porekla,
2. Zakočno zračenje ili bremštralung - topotno zračenje razređene sredine [5].

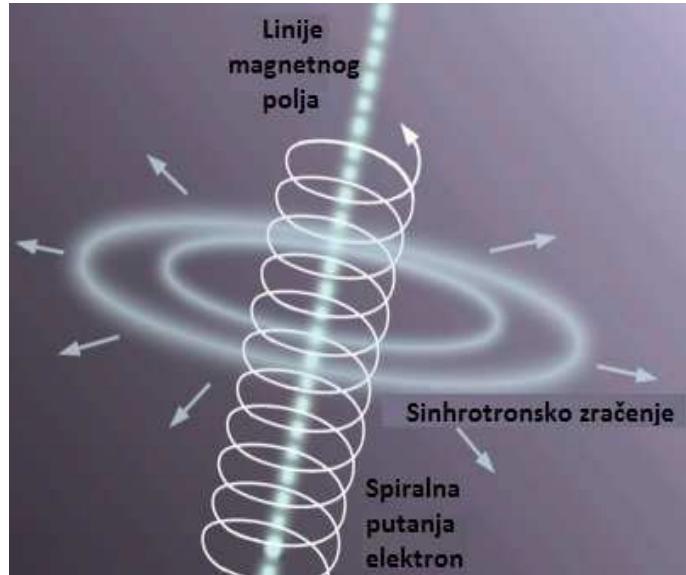
Pored ovih mehanizama postoje i mehanizmi koji nisu toliko česti u Kosmosu, a to su:

3. Topotno zračenje guste sredine,
4. Inverzni Komptonov efekat.

Ovi mehanizmi su navedeni redom koji odgovara značaju mehanizma u stvaranju radio-zračenja u kontinuumu.

3.1. SINHROTRONSKO ZRAČENJE

Do sinhrotronskog zračenja dolazi prilikom kretanja relativističke nanelektrisane čestice (elektrona) u magnetnom polju (ukoliko je nanelektrisana čestica nerelativistička zračenje nazivamo ciklotronsko [6]). Da bi došlo do efikasnog zračenja prvo je potrebno ubrzati elektron, a zatim treba da ga zahvati magnetno polje. Kada ga zahvati magnetno polje elektron se kreće po helikoidnoj putanji oko linija sila magnetnog polja usled Lorencove sile $F_L = q\vec{v} \times \vec{B}$, gde je q nanelektrisanje, \vec{v} brzina nanelektrisane čestice, a \vec{B} magnetna indukcija, i intenzivno zrači u ravni normalnoj na pravac polja (slika 3.1.). Zbog toga je sinhrotronsko zračenje polarizovano.



Slika 3.1: Kretanje elektrona oko linija sila magnetnog polja i pravci emitovanja sinhrotronskog zračenja [6]

Ukupna snaga zračenja koju izrači nanelektrisana čestica kada se kreće ubrzano može se izraziti Larmorovom formulom

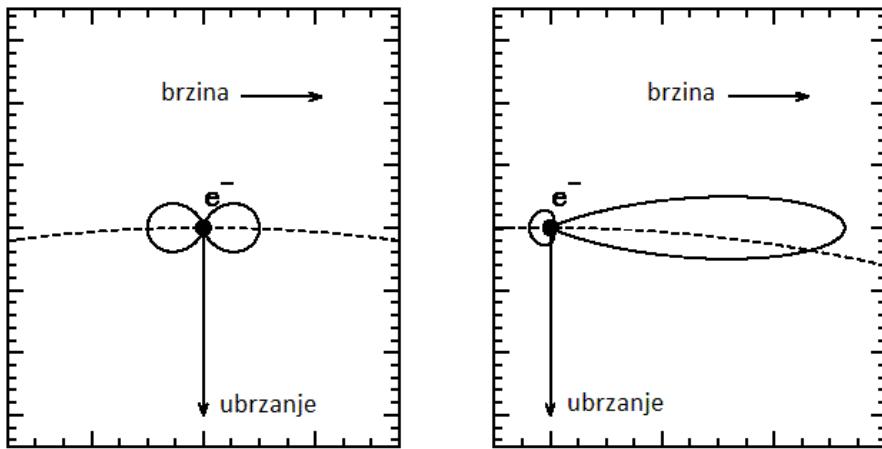
$$P = \frac{2}{3} \frac{q^2}{c^3} a^2 \quad (3.1)$$

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

gde je a ubrzanje čestice nanelektrisanja q , a formula je napisana u CGS sistemu. Ova formula nam daje snagu zračenja u nerelativističkom slučaju, međutim elektron se prilikom emitovanja sinhrotronskog zračenja kreće relativistički. U tom slučaju moramo primeniti specijalnu teoriju relativnosti, odnosno Lorencove transformacije na jednačinu (3.1). Za snagu sinrotronskog zračenja jednog relativističkog elektrona u magnetnom polju indukcije B dobijamo:

$$P = \frac{4}{3} \sigma_T c \beta^2 \gamma^2 U_B \quad (3.2)$$

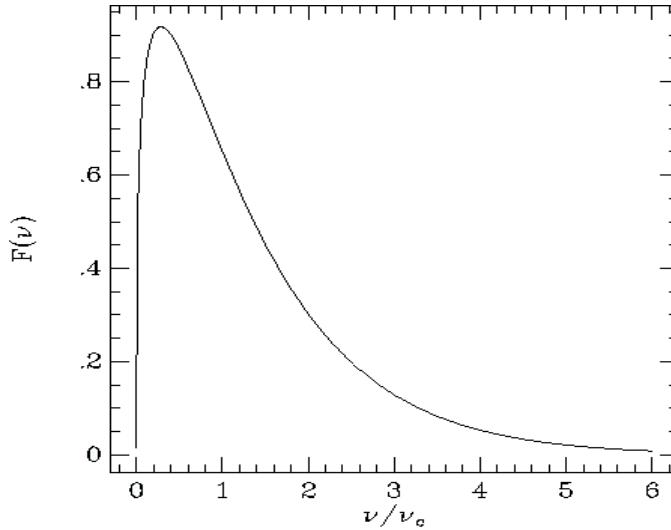
gde je $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ standardni Lorencov faktor, a $\beta = v/c$. $\sigma_T = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{m_e c^2} \right)^2$ je presek za Tomsonovo¹¹ rasejanje, a $U_B = B^2/8\pi$ gustina energije magnetnog polja. Sve veličine su u ovoj formuli takođe su izražene u CGS sistemu. Vidimo da je snaga obrnuto srazmerna kvadratu mase, odakle se može zaključiti da je proces karakterističan za elektrone.



Slika 3.2: Dijagram snage (i usmerenost) ciklotronskog (levo) i sinhrotronskog (desno) zračenja [8]

Prostorna raspodela zračenja nanelektrisane čestice u magnetnom polju ima oblik dve latice (dipolno), tako da je intenzitet najveći u pravcu kretanja čestice. U ostalim pravcima snaga je umanjena za faktor $(\cos \theta)^2$, gde je θ ugao između pravca brzine i pravca zračenja. Kada na ovo dodamo i relativističko kretanje čestice, dolazi do deformacije simetrične raspodele zračenja, odnosno do izduženja latice u smeru kretanja elektrona, a sabijanja one u suprotnom smeru (slika 3.2.). Zbog ove usmerenosti udaljeni posmatrač bi sinhrotronsko zračenje jednog elektrona video kao bljeske prilikom kojih konus uglovne širine $2/\gamma$ "prebriše" njegov prijemnik.

¹¹Tomsonov presek opisuje verovatnoću klasičnog rasejanja elektromagnetskog talasa o nanelektrisanu česticu. Iako u slučaju sinhrotronskog zračenja ne dolazi do rasejanja, konstante se mogu grupisati u ovu konstantu radi konciznijeg zapisa



Slika 3.3: Spektar sihrotronskog zračenja grupe elektrona sa jednakom energijom [7]

Signal koji detektuje posmatrač nije monoenergetski, a ni njegova raspodela po frekvencijama nije simetrična. Spektar zračenja je takav da ima maksimum na frekvenciji $0.29\nu_c$, gde je:

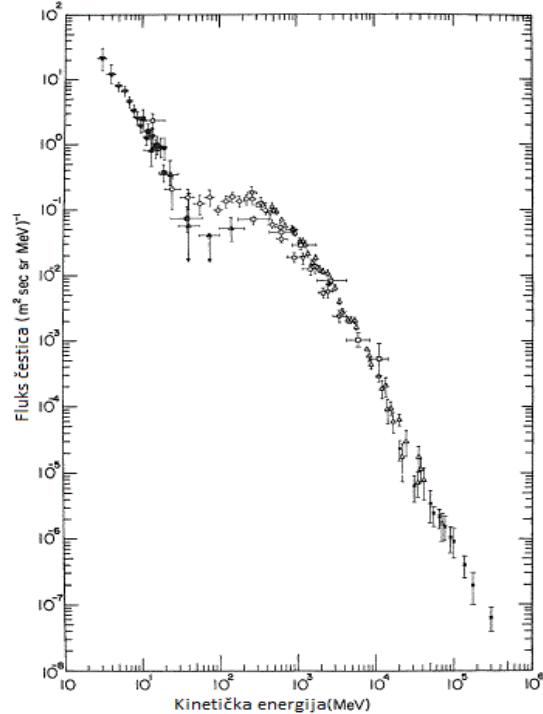
$$\nu_c = \frac{3\gamma^2 eB}{2m_e c} \quad (3.3)$$

karakteristična frekvencija ispod koje snaga zračenja značajno opadne. Spektar sinrotronskog zračenja grupe elektrona iste energije prikazan je na slici 3.3.

Ako posmatramo neku realnu astrofizičku sredinu, elektroni će imati neku raspodelu po brzinama (energijama). Iz empirijskih podataka dobijenih za raspodelu kosmičkog zračenja (slika 3.4.) zaključuje se da raspodela $N(E)$ ima stepeni oblik. Po tome možemo uzeti da je broj elektrona sa energijom u intervalu dE dat kao:

$$\frac{dN(E)}{dE} = kE^{-p} \quad (3.4)$$

gde je k konstanta proporcionalnosti, a p spektralni indeks. Ako u jednačinu (3.2) umesto Lorencovog faktora γ zamenimo njegovu vezu sa relativističkom energijom $\gamma = \frac{E}{m_e c^2}$, dobijamo da je snaga sinhrotronskog zračenja:



Slika 3.4: Energetski spektar elektrona iz kosmičkog zračenja [7]

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

$$P(E) \propto E^2 B^2 \quad (3.5)$$

Kako će sledeće izvođenje biti dato samo kvalitativno, uzećemo karakterističnu frekvenciju kao jedinu frekvenciju zračenja na kojoj zrači grupa elektrona određene energije. Karakteristična frekvencija je proporcionalna kvadratu energije, pa možemo napisati:

$$E \propto \nu^{1/2} \quad (3.6)$$

$$dE \propto \nu^{-1/2} d\nu \quad (3.7)$$

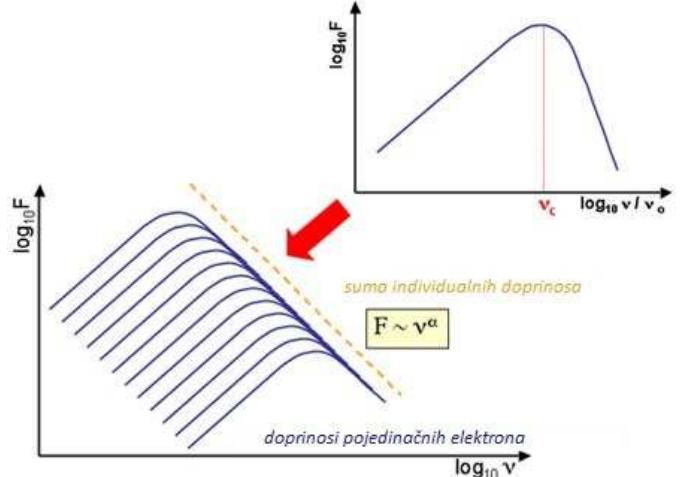
Ukupna energija u intervalu frekvencija ν do $\nu + d\nu$ od strane svih elektrona energije u intervalu E do $E + dE$ biće proizvod snage zračenja jednog elektrona neke energije (3.5) i broja elektrona koji imaju tu energiju (3.4). Po tome, spektar grupe elektrona sa stepenom raspodelom ima oblik:

$$F(\nu) d\nu = P(E) N(E) dE \quad (3.8)$$

$$F(\nu) d\nu \propto E^2 B^2 E^{-p} dE \propto E^{2-p} dE$$

$$F(\nu) \propto \nu^{(1-p)/2} \quad (3.9)$$

Dobili smo da je spektar sinhrotronskog zračenja za grupu elektrona sa stepenom raspodelom po energijama isto stepeni zakon sa drugačijim spektralnim indeksom $\alpha = (1 - p)/2$. Na slici 3.5. se vidi kako se ukupni spektar sinhrotronskog zračenja dobija kao suma individualnih doprinosa pojedinačnih elektrona. Vidi se takođe da dok broj elektrona opada sa energijom, karakteristična frekvencija se pomera ka višim frekvencijama sa porastom energije. Pošto spektralni indeks raspodele čestica tipične za kosmičko zračenje uzima vrednost $p \sim 2$, spektralni indeks sinhrotronskog zračenja će biti u opsegu $\alpha \approx 0.5 - 1$.

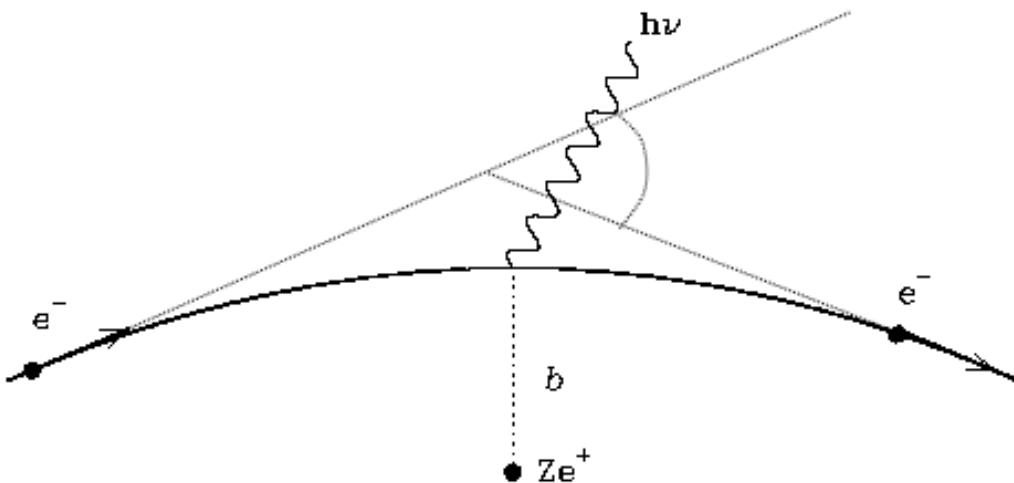


Slika 3.5: Sumarni spektar sinhrotronskog zračenja [9].

Kako je sinhrotronsko zračenje najizraženije na niskim frekvencijama, ono je jedna od najdominantnijih komponenti zračenja u radio domenu. Glavni emiteri sinhrotronskog zračenja u Svetmiru su objekti kod kojih se dešavaju visokoenergetski procesi koji proizvode relativističke elektrone, a kako magnetno polje postoji svuda oko njih mora doći do sinhrotronskog zračenja. U našoj galaksiji najjači emiteri sinhrotronskog zračenja su: Galaktičko središte, Mlečni put u celini, Sunce u aktivnoj fazi ciklusa, ostaci supernovih i pulsari; a objekti koji najjače emituju sinhrotronsko zračenje, a nalaze se van naše galaksije su: aktivne galaksije i kvazari, a pored njih se mogu detektovati i ostaci supernovih u drugim galaksijama.

3.2. ZAKOČNO ZRAČENJE

Za razliku od sinhrotronskog zračenja koje je netermalne prirode, zakočno zračenje ima termalni karakter. U radio području možemo posmatrati ovakvo zračenje iz razređenih sredina. Do nastanka ovog zračenja dolazi prilikom kretanja nanelektrisane čestice u polju jona, pri čemu ona biva skrenuta sa svoje prvobitne putanje pod nekim uglom θ , a samim tim dolazi i do njenog ubrzanog (usporenog) kretanja (slika 3.6.). Znamo da svaka ubrzana nanelektrisana čestica zrači, pri čemu se zračenje emituje na račun njene kinetičke energije, pa čestica usporava. Ovo zračenje



Slika 3.6: *Mehanizam zakočnog zračenja. Elektron prolazi pored jona nanelektrisanja $+Ze$ sa parametrom sudara b . Sile koje deluju na elektron tokom njegovog kretanja izazivaju zračenje [7]*

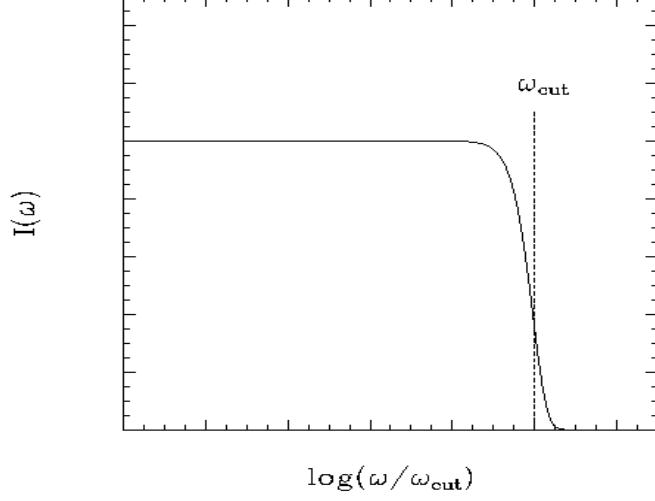
ima termalni karakter jer se za početnu brzinu čestice sa kojom ona ulazi u interakciju uzima brzina određena temperaturom sredine u kojoj se ona nalazi. Zbog toga će ovaj spektar biti kontinualan. Prostim razmatranjem možemo jednostavno odrediti najbitnije parametre od kojih zavisi intenzitet zakočnog zračenja. Iz Kulonovog zakona vidimo da što je veće nanelektrisanje Ze jona u cijem se polju kreće nanelektrisana čestica, to je jače njegovo dejstvo na tu česticu i ona više skreće sa svoje prvobitne putanje, a samim tim se više ubrzava (usporeava), tj. intenzivnije zrači. Pored toga, što je veća masa čestice na koju deluje jon, ona će se više odupirati njegovom dejstvu, tj. intenzitet zakočnog zračenja je obrnuto proporcionalan masi čestice koja zrači. Kako je proton ~ 2000 puta masivniji od elektrona, zakočno zračenje protona je zanemarljivo u odnosu na ostale vidove gubitaka njegove energije. Zbog toga ćemo analizirati samo zakočno zračenje elektrona. Takođe, što bliže elektron prođe pored jona, to je zakočno zračenje intenzivnije. Blizina prolaska se opisuje veličinom koja se naziva parametar sudara b . Intenzitet zakočnog zračenja pored svega ovoga zavisi i od brzine elektrona, jer od nje zavisi vreme trajanja interakcije. Ukupna snaga zračenja izračenog prilikom ubrzanog kretanja nanelektrisane čestice u polju data je Larmorovom formulom (3.1). Zakočno zračenje ima neke veoma interesantne osobine:

- Emitovana snaga je proporcionalna kvadratu nanelektrisanja i kvadratu ubrzanja nanelektrisane čestice,

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

- Fotoni se emituju u obliku dve latice (kao i kod ciklotronskog zračenja),
- Zračenje je polarizovano. Vektor električnog polja emitovanog zračenja je paralelan vektoru ubrzanja naelektrisanja [8].

Posmatraćemo elektron koji se ubrzava prolazeći pored jona (Slika 3.6.). Njegovo ubrzanje nije uniformno, pa on emituje fotone sa nekim rasponom talasnih dužina, odnosno spektar. Ukupna snaga koja se emituje može se izračunati iz Larmorove formule tek kada se odredi ubrzanje kao funkcija vremena. Kao rezultat dobijamo ravan spektar sa odsečkom na ω_{cut} , koji je povezan sa vremenom interakcije $\Delta t = b/v$, odnosno frekvencijom interakcije $\omega = 1/\Delta t = v/b$, $dt = \frac{1}{\omega^2} d\omega$ (Slika 3.7.). Polazeći od jednačine (3.1) može se izvesti izraz za intenzitet ravnog dela spektra, gde je $\omega < \omega_{cut}$:



Slika 3.7: Spektar koji nastaje prilikom zakočnog zračenja [7]

$$\begin{aligned} \frac{dW}{d\omega} &= \frac{dW}{dt} \frac{dt}{d\omega} \propto \frac{e^2}{c^3} a^2 \frac{1}{\omega^2} = \frac{e^2}{c^3} a^2 \frac{b^2}{v^2} \propto \frac{e^2}{c^3} \frac{e^4 Z^2}{m^2 b^4} \frac{b^2}{v^2} \\ I &= \frac{dW(b)}{d\omega} = \frac{8e^6}{3\pi c^3} \frac{Z^2}{m^2 v^2 b^2} \end{aligned} \quad (3.10)$$

gde je v brzina čestice koja zrači, Z je naelektrisanje jona u čijem polju dolazi do zračenja, a m je masa čestice koja zrači.

Ovi izrazi opisuju emisiju jednog elektrona sa parametrom sudara b i brzinom v . Ovaj izraz treba uopštiti na grupu elektrona sa datom raspodelom brzina i datom gustinom na nekoj određenoj temperaturi T . Posmatraćemo jonizovani gas na temperaturi T . Raspodela brzina je u tom slučaju data Maksvelovom raspodelom:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m_e}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-m_e v^2 / 2kT} \quad (3.11)$$

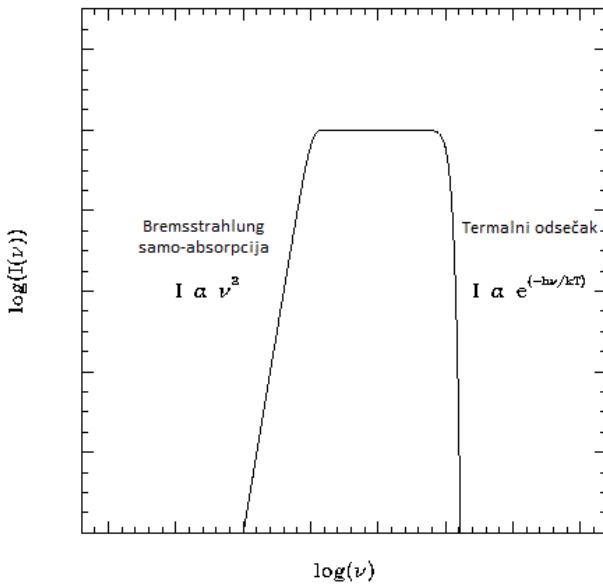
Tipičan parametar sudara b u oblaku, između elektrona i pozitivnih jona zavisi od koncentracije elektrona i jona, n_e i n_i , respektivno. Ako integralimo jednačinu (3.10) po brzini v i po parametru sudara b , dobijamo ukupnu energiju zakočnog zračenja izračenog po jedinici zapremine u jedinici vremena po jediničnom frekventnom intervalu:

$$\epsilon_v^{ff} = \frac{dW}{dtdvdV} = \frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^3} \frac{32\pi e^6}{3m_e^{3/2} c^3} \left(\frac{2\pi}{3k} \right)^{1/2} \overline{G_{ff}} T^{-1/2} Z^2 n_e n_i e^{-hv/kT} \quad (3.12)$$

$$\epsilon_v^{ff} [\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-3} \text{Hz}^{-1}] = 6.8 \times 10^{-38} \overline{G_{ff}} T^{-1/2} Z^2 n_e n_i e^{-hv/kT} \quad (3.13)$$

gde je $\overline{G_{ff}}$ Gaunt faktor koji sadrži kvantomehaničke korekcije i koji je reda veličine 1 u velikom opsegu temperatura i gustina. Indeks ff se odnosi na slobodno-slobodne prelaze.

Spektar prikazan na slici 3.7. je takav pod uslovom da je sredina u kojoj nastaje zračenje optički retka. Iz takve sredine zračenje može da izđe bez prethodne interakcije sa sredinom. Međutim, ukoliko je sredina optički gusta, zračenje koje nastane prelazi male udaljenosti kroz sredinu (relativno u odnosu na njenu veličinu) pre nego što bude reabsorbovano od nje same. Zbog toga oblik spektra zavisi od emisionih i absorpcionih procesa u dатој sredini, pa će spektar zakočnog zračenja, konačno imati oblik prikazan na (Slika 3.8.), tj. imaće eksponencijalni odsečak i na malim frekvencijama.



Slika 3.8: Efekat samo-absorpcije sredine na spektar zakočnog zračenja [7]. Grafik intenziteta zakočnog zračenja u funkciji frekvencije.

U astrofizici, zakočno zračenje nam ukazuje na postojanje jonizovanog gasa (plazme). Takve sredine postoje u zvezdanim atmosferama, središnjim regionima aktivnih galaktičkih jezgara (AGN) ili kod drugih objekata kod kojih dolazi do akrecije materije. Kod HII regiona, u kojima je gas koji okružuje vrelu zvezdu ionizovan od strane UV zračenja zvezda, možemo detektovati emisiju zakočnog zračenja od optičke do radio oblasti. Galaktička jata su izvor zakočnog zračenja u X oblasti, što je jedan od dokaza za postojanje tamne materije [8].

3.3. INVERZNO KOMPTONOVO RASEJANJE

Inverzno Komptonovo rasejanje je proces pri kome elektron visoke energije niskoenergetskom fotonu prilikom interakcije prenosi deo svoje energije. Snaga ovog zračenja ima oblik veoma sličan sinhrotronskom zračenju:

$$P = \frac{4}{3} \sigma_T c \beta^2 \gamma^2 U_f \quad (3.14)$$

gde umesto gustine energije magnetnog polja imamo U_f gustinu energije fotonskog polja. Iz ovoga sledi da spektar inverznog Komptonovog zračenja ima istu zavisnost od energije kao i sinhrotronsko zračenje:

$$F_{IC}(\nu) \propto \nu^{(1-p)/2} \quad (3.15)$$

Za razliku od sinhrotronskog zračenja inverzno Komptonovo zračenje dominira u oblasti X i γ zračenja. Putem ovog procesa foton može da primi maksimalnu energiju $E_{max} = h\nu_{max} \approx 4h\gamma^2\nu_0$, gde je ν_0 početna frekvencija fotona, a γ Lorencov faktor za visokoenergetske elektrone.

Sunjajev-Zeldovićev efekat je rezultat inverznog komptonovskog rasejanja mikrotalasnog pozadinskog zračenja (2.73 K) na visokoenergetskim elektronima sa temperaturom $T_e > 10^7$ K ($\nu_e \sim 0.1c$), pri čemu se deo energije visokoenergetskog elektrona prenese na niskoenergetske fotone. Ovaj efekat je bitno napomenuti jer putem njega dobijamo malo pomeren spektar mikrotalasnog pozadinskog zračenja ka manjim talasnim dužinama, što se delimično oslikava i u radio oblasti.

3.4. ZRAČENJE CRNOG TELA

Radio zračenje termalnog porekla kod optički guste sredine je zračenje crnog tela, koje se može opisati Plankovim zakonom. U radio domenu Plankov zakon se jako dobro aproksimira Rejli-Džinsovim zakonom:

$$I_\nu(T) = \frac{2kT_b}{c^2} \nu^2 \quad (3.16)$$

Ovde T_b predstavlja temperaturu sjaja izvora, koja je po definiciji temperatura crnog tela koje bi na datoј frekvenciji imalo isti intenzitet zračenja kao i posmatrani izvor. Pored ovoga bitno je navesti i da je spektralni indeks ove komponente zračenja $\alpha = 2$.

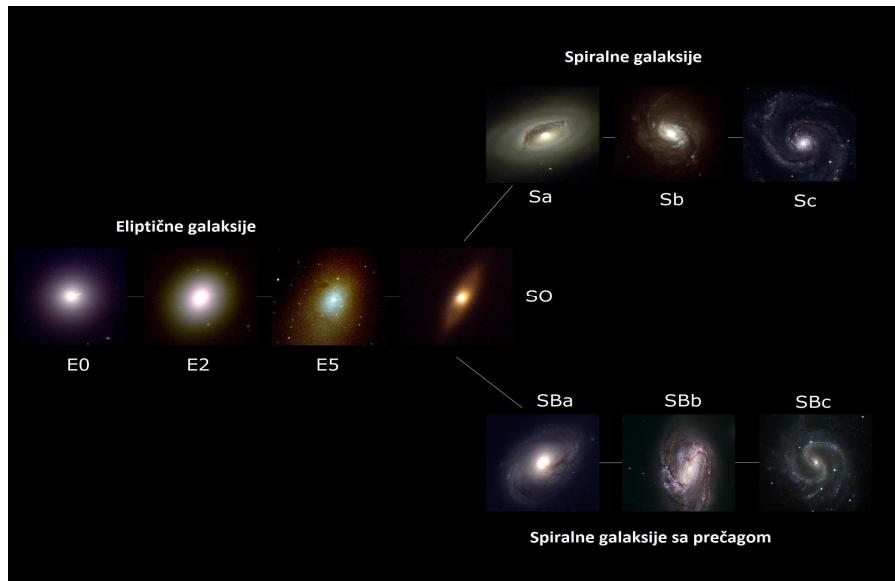
Izvori koji se detektuju u radio oblasti, a zrače kao crna tela su Sunce, planete i ostala čvrsta tela Sunčevog sistema, međuzvezdana prašina i mikrotalasno pozadinsko zračenje čiji se maksimum nalazi na visokofrekvencionom rubu radio oblasti.

4. RADIO IZVORI U ASTRONOMIJI

Postoji veliki broj različitih tipova izvora koji se mogu detektovati u radio domenu. Neki od njih su aktivno Sunce, planete, ostaci supernovih, pulsari, kvazari, normalne i aktivne galaksije, mikrotalasno pozadinsko zračenje, H II regioni, međuzvezdana prašina, neutralni vodonik H I, molekuli u međuzvezdanoj materiji, molekulski maseri, zvezdni kanibalizam, galaktički kanibalizam, kao i mnogi drugi. U ovom radu će detaljnije biti opisani samo oni izvori koji su bitni za razumevanje ostatka ovog rada.

4.1. GALAKSIJE

Galaksije su gravitaciono vezani objekti koji se sastoje iz ogromnog broja $10^6 - 10^{12}$ zvezda i međuzvezdane materije. One se prema izgledu svojih spektara mogu podeliti na dve velike grupe: normalne galaksije, kod kojih vladaju standardni mehanizmi zračenja i koje možemo posmatrati kao skup različitih objekata koji pojedinačno zrače i aktivne galaksije, čiji spektri se ne mogu opisati na taj način jer u njima postoje neki ne tipični uslovi. U ovom odeljku će biti opisane normalne galaksije i zračenje u radio domenu koje iz njih možemo očekivati. Normalne galaksije se klasifikuju po modelu Hablove viljuške (Slika 4.1.), na kojoj vidimo da se one mogu podeliti na spiralne, eliptične i nepravilne galaksije.



Slika 4.1: Klasifikacija galaksija - Hablova viljuška [10]

Spiralne galaksije se sastoje iz zvezda različite starosti, međutim za njih je karakteristično prisustvo mladih i sjajnih zvezda tipa O i B u oblasti spiralnih grana, koje se stalno formiraju zbog prisustva velike količine međuzvezdanog gasa u spiralnim granama. Samim tim u spiralnim

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

galaksijama detektujemo veći broj radio izvora kao što su H II regioni i ostaci supernovih (videti poglavlja 4.2. i 5.).

Za razliku od spiralnih galaksija eliptične galaksije se uglavnom sastoje iz starih zvezda i male količine međuzvezdanog gasa iz koga se mlade zvezde formiraju. Zbog toga kod njih ne očekujemo detekciju H II regiona i supernova ostataka.

4.2. H II REGIONI

H II regioni su oblaci međuzvezdanog gasa koji su jonizovani zračenjem mlađih vrelih zvezda O i B klase koje se u njima nalaze. Njihov kontinuum zračenja crnog tela ima maksimum u UV oblasti, pa velik broj fotona ima dovoljnu energiju da jonizuje atome vodonika u ovom oblaku. Vrlo slične karakteristike H II regionima imaju i planetarne magline - oblaci međuzvezdanog gasa koji su jonizovani zračenjem centralnog belog patuljka čiji je ionizacioni potencijal još veći jer ima površinsku temperaturu od oko 200000 K za razliku od zvezda O i B klase sa površinskim temperaturama 10000 K-50000 K.

Oblast oko zvezde koja se sastoji od oko 90 % jonizovanog vodonika i u kojoj konstantno dolazi do ionizacije i rekombinacije se naziva Stromgrenova sfera. Radijus Stromgrenove sfere R_S se definiše kao:

$$R_S = \frac{3L_{UV}}{4\pi n_e n_p \beta} \cong \frac{3L_{UV}}{4\pi n_p^2 \beta} \quad (4.1)$$

gde je L_{UV} luminoznost jonizujućih fotona (broj jonizujućih fotona izraženih u jedinici vremena), β je ukupan koeficijent rekombinacije koji zavisi od temeprature sredine (za tipične H II regije iznosi $\beta \approx 2.6 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{s}^{-1}$ [11]), dok su n_e i n_p koncentracije elektrona i protiona, respektivno. Kako je zastupljenost vodonika u svemiru $\sim 90\%$ možemo aproksimirati $n_e \approx n_p$. Tipične koncentracije koje srećemo u ovim regionima su $n_p \approx 10^3 \text{ cm}^{-3}$. Stromgrenova sfera je samo teorijski model, jer su H II regioni retko sferni, a i fluks jonizujućih fotona je teško odrediti jer se O i B zvezde uglavnom nalaze u skupinama.

H II regioni emituju radio zračenje u kontinumu usled termalnog zakočnog zračenja slobodnih elektrona u polju jona, a postoji i termalno zračenje prašine kao crnog tela. Pomoću termalnog zakočnog zračenja radio-kontinuma se može odrediti temperatura i koncentracija elektrona u njima. Pri posmatranju H II regiona u radio kontinumu se može videti da njihov spektar blago opada sa frekvencijom, odnosno oni imaju spektralni indeks $\alpha \gtrsim -0.5$.

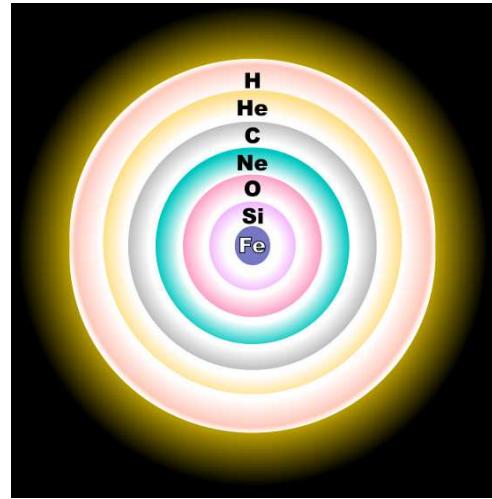
5. SUPERNOVE I OSTATCI SUPERNOVIH (SNRs)

Supernove su veoma snažne eksplozije zvezda. Sjaj zvezde se u eksploziji supernove poveća čak 10000 puta, a apsolutna magnituda im dostiže -17 (dostiže sjaj cele galaksije), nakon čega se polako smanjuje tokom nekoliko nedelja, odnosno meseci. Do eksplozije supernovih može doći na dva načina.

Jedan se dešava kod veoma masivnih zvezda sa masom $M > 8M_{\odot}$ u poslednjoj fazi njihovog života. Zvezda pre eksplozije ima ljkastu strukturu (Slika 5.1.) pri čemu se fuzione reakcije dešavaju u svakom sloju sem u jezgru zvezde koje se sastoji od gvožđa i nikla. U ljkama dolazi do fuzije u teže elemente jer je energija veze po nukleonu kod jezgara koji ulaze u reakciju manja od energije veze po nukleonu kod produkta reakcije. Međutim, sa gvožđem, odnosno niklom to nije slučaj. Zbog toga se masa gvozdenog jezgra sve više uvećava do trenutka kada dostigne Čandrasekarovu granicu $M_j = 1.4 M_{\odot}$. Tada pritisak degenerisanog elektronskog gasa više nije u mogućnosti da zadrži dalje sažimanje jezgra, odnosno dolazi do procesa neutronizacije:

$$e^- + p \rightarrow n + \nu_e \quad (5.1)$$

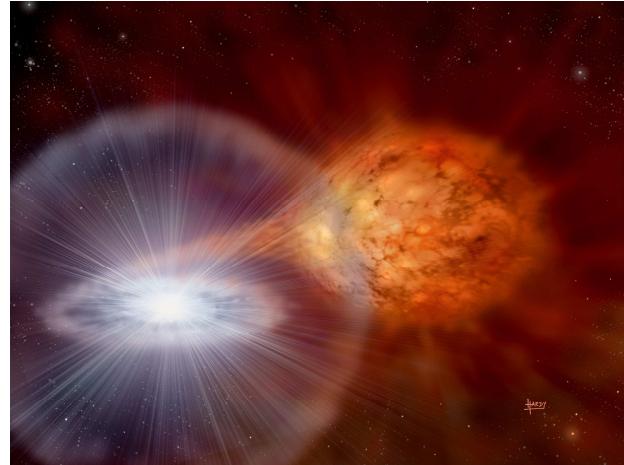
i jezgro zvezde počinje naglo da se sažima. U ovom procesu nastaju neutroni i jezgro se pretvara u neutronsку zvezdu, a najveći deo energije odnose elektronski neutrini, odnosno nastaje neutrinski talas (u kome se oslobođi 10^{58} neutrina, a prosečna energija jednog neutrina je oko 10 MeV). Neutronska zvezda ostaje stabilna ukoliko masa jezgra ne pređe granicu od $3 M_{\odot}$, a ukoliko je pređe, više ni pritisak neutronske degenerisanog gasa nije u mogućnosti da zadrži sažimanje i nastaje crna rupa. Kada nastane neutronska zvezda, spoljašnji slojevi naglo padaju prema jezgru i dolazi do njihovog kolapsa. Međutim, kada oni dođu do površine neutronske zvezde dolazi do njihovog naglog odbijanja i nastajanja udarnog talasa koji eksplozivno razara spoljašnje slojeve zvezde. Energija ove eksplozije može kod najmasivnijih zvezda da dostigne čak 10^{53} erg. Pri ovome se misli na ukupnu energiju koja se sastoji iz energije neutrina (ona čini većinu energije u ovom slučaju), kinetičku energiju nukleona i energiju elektromagnetskog zračenja. Takav oblik eksplozije je prvi od načina nastajanja supernove.



Slika 5.1: Ljkasta struktura zvezde

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

Drugi način nastajanja supernove se dešava u tesnim dvojnim sistemima zvezda, kada je jedna od zvezda završila sa svojom evolucijom u obliku belog patuljka (to se dešava kod zvezdanih ostataka koji imaju manju masu od Čandrasekarove granice), a druga zvezda je u fazi džina ili superdžina. Ako su ove dve zvezde dovoljno blizu može doći do pretakanja materije sa superdžina na belog patuljku (Slika 5.2.). Za takav sistem postoje dva scenarija u zavisnosti od efikasnosti pretakanja materije. Ukoliko pretakanje nije dovoljno efikasno dolazi do jedne ili više eksplozija nove (vodonik koji se akumulira na površini belog patuljka eksplozivno fuzioniše u helijum i razara spoljašnje delove belog patuljka). Međutim, u slučaju veoma efikasnog pretakanja beli patuljak može da dostigne Čandrasekarovu granicu i tada dolazi do nezadrživog kolapsa cele zvezde. Taj snažni kolaps prouzrokuje eksplozivne termonuklearne reakcije u kojima ugljenik i kiseonik preko silicijuma fuzionišu do gvožđa. Pri tome se razara cela zvezda i oslobađa se energija od oko 10^{51} erg. Većina energije u ovom slučaju odlazi na kinetičku energiju nukleona. Kako svaki beli patuljak u svemiru doživljava ovaj scenario kada dostigne tačno određenu masu, ovakve eksplozije se nazivaju standardne sveće jer su energetski identične u bilo kom delu svemira, pa nam mogu koristiti za određivanje udaljenosti u svemiru.



Slika 5.2: Tesni dvojni sistem

5.1. PODELA SUPERNOVIH

Podela supernovih je izvršena na osnovu izgleda njihovih spektara u optičkom domenu. Supernove se na osnovu karakterističnih apsorpcionih i emisionih linija različitih atoma koje vidimo u njihovom spektru dele na:

- Supernove tipa I - bez linija vodonika
 - Tip Ia - Ove supernove, tzv termonuklearne supernove nastaju putem drugog mehanizma koji je opisan u prethodnom poglavljju. Kod njih vidimo duboke apsorpcione linije silicijuma i jake linije gvožđa jer su to produkti eksplozivnih termonuklearnih reakcija. Linija vodonika i helijuma se ne vide, jer su oni razvejani pre nastanka belog patuljka (planetarna maglina).
 - Tip Ib - Kod njih vidimo apsorpcione linije neutralnog helijuma. Nema linija silicijuma.
 - Tip Ic - Nema linija silicijuma. Linije helijuma ili ne postoje ili su jako slabe.
- Supernove tipa II - Imaju veoma izražene linije vodonika.

Supernove tipa II, Ib i Ic nastaju kroz mehanizam kolapsa jezgra kod zvezda velikih masa, a razlikuju se u tome što kod tipova Ib i Ic u kasnim fazama evolucije zvezde dolazi do razvejavanja spoljašnjih slojeva vodonika ili i vodonika i helijuma, respektivno.

5.2. OSTATCI SUPERNOVIH

Prilikom eksplozije supernove dolazi do oslobođanja ogromne energije reda veličine 10^{51} erg. Spoljašnji slojevi zvezde se šire brzinom od oko 20000 km/s [12]. Ova ljudska se kreće gotovo bez ikakvog otpora u početnom stadijumu jer je njena gustina mnogo veća od gustine okolne međuzvezdane materije. Kako je međuzvezdana materija male gustine, oko 1 cm^{-3} , udarni talas protona koji se kreće brzinom od 20000 km/s, bi trebalo da se formira na udaljenosti na kojoj oni pređu put koji je jednak njihovom srednjem slobodnom putu u toj sredini, a koja je reda veličine 500 pc. Međutim, do formiranja udarnog talasa dolazi mnogo ranije usled postojanja magnetnog polja u međuzvezdanoj sredini. Ovi protoni velike energije kruže oko linija sila magnetnog polja čija je magnetna indukcija $B = 3 \mu\text{G}$, što obezbeđuje Larmorov radijus od $R_L \approx 10^{11} \text{ cm} = 10^{-8} \text{ pc}$. Protoni, koje ovo magnetno polje skrene sa puta formiraju tanku barijeru, koju ljudska probija. Na taj način se stvara udarni talas, a takođe i ostatak supernove. Evolucija ostatka supernove je direktno povezana sa propagacijom udarnog talasa. Kada se udarni talas formira, međuzvezdana sredina male gustine nije u stanju da ga brzo oslabi, pa ostatak supernove dostiže ogromne dimenzije i živi preko milion godina. Udarni talas sabija okolno međuzvezdano magnetno polje i ubrzava čestice do relativističkih brzina i tako nastaju uslovi za jaku sinhrotronsku emisiju. Mechanizam ubrzavanja čestica u udarnim talasima se naziva Fermijev mehanizam ubrzavanja drugog reda [13]. Do njega dolazi usled uvećavanja energije nanelektrisane čestice u prisustvu turbulentacija magnetnog polja. Ukoliko se turbulentacija magnetnog polja kreće ka nanelektrisanom česticama, prilikom odbijanja čestice dolazi do njenog ubrzavanja i obrnuto. Teorijski je utvrđeno da češće dolazi do ubrzavanja nego usporavanja, pa se čestice ubrzavaju. Ovaj mehanizam se naziva Fermijev ubrzavanje drugog reda jer je uvećanje energije pri jednom odbijanju proporcionalno kvadratu brzine turbulentacije podeljenom sa kvadratom brzine svetlosti, β_T^2 . Detalji ovog mehanizma su veoma komplikovani i još uvek nisu dovoljno proučeni, pa zbog toga količina relativističkih čestica koje oslobađa jedan ostatak supernove u međuzvezdani prostor nije precizno određena.

5.2.1. Klasifikacija supernova ostataka

Ostatke supernovih možemo podeliti na ostatke supernovih tipa I (podela zasnovana na morfološkim karakteristikama u radio i X domenu) koji se dalje dele na: S (shell like) - ljudski ostaci, plerioni (filled center) - centralno ispunjeni ostaci i C (composite) - kompozitni; i ostatke supernovih tipa II (podela zasnovana na fizičkim karakteristikama) koji se dele na: B (Balmer dominated) - dominantne Balmerove linije, O (Oxygen rich) - bogate kiseonikom, P/C (plerionic/composite) - plerioni odnosno kompozitni i evoluirani ostaci [14]. Kasnije se definišu još neke vrste kao što su npr. MM (mixed morphology).

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

Oko 90 % ostataka su ostaci supernovih koji imaju izgled ljske (S). Najčešće im je ljska sfernog oblika i velika količina detektovanog zračenja dolazi iz vlakana koja obrazuju samu ljsku.

Plerioni u svom centru sadrže pulsar, ali zračenje koje se detektuje ne potiče samo od njega nego od celog ostatka supernove.

5.2.2. Faze kod ostataka supernovih

Postoje četiri faze u evoluciji udarnih talasa kod supernovih. Ovo je približna, empirijska klasifikacija, tako da se ne mogu svi SNR razvrstati po ovim fazama (najpoznatiji izuzetak je Rakova maglina).

Prva faza je faza slobodnog širenja. U njoj je za celokupnu dinamiku odgovorna eksplozija supernove. Masa gase kroz koju prolazi ljska koja se širi je manja od inicijalne mase M_i , a radijus je proporcionalan vremenu $R \propto t$:

$$\frac{4}{3} R^3 \pi \rho_1 \leq M_i \quad (5.2)$$

gde je sa leve strane masa međuzvezdanog gase homogene sredine čija je gustina ρ_1 kroz koju je udarni talas prošao, a na desnoj početna masa dela zvezde koji je eksplozijom izbačen. Radijus R se menja sa vremenom kao $R \propto t$, a faza može trajati od nekoliko desetina do 1000 godina. Primer SNR u ovoj fazi je supernova 1987A.

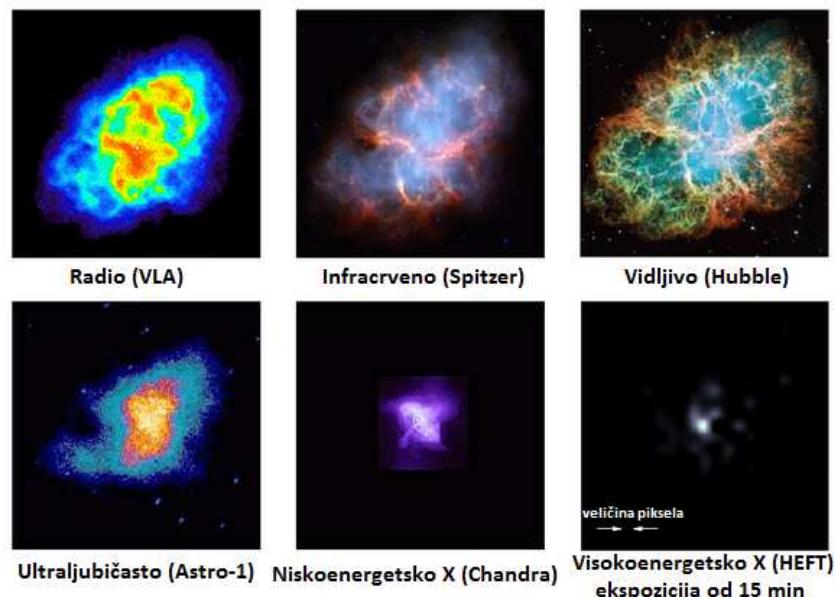
Druga faza je adijabatska faza ili faza Sedova. Tokom nje u ostatku dominira materijal kroz koji je ostatak supernove prošao, ali su gubitci energije na zračenje još uvek zanemarljivi u odnosu na ukupnu energiju koja je nastala u eksploziji supernove. Zbog toga možemo reći da tokom ekspanzije u ovoj fazi unutar ostatka važi zakon održanja energije, pa se ova faza zbog toga naziva adijabatska. Tokom ove faze temperatura može dostići vrednost reda veličine 10^6 K. U ovoj fazi ostatak ostaje dok putem zračenja ne izgubi polovinu svoje energije koju je dobio u eksploziji. Kako je zračenje neefikasno u ovoj fazi SNR po nekim modelima može da ostane i preko milion godina. U fazi Sedova važi $R \propto t^{2/5}$, pa se može dobiti da nakon ove faze prečnik ostatka može biti i preko 300 pc. U fazi Sedova je LMC SNR 0453-68.5, a njena starost se procenjuje na 13000 god.

Kada ostatak izgubi polovinu svoje energije počinje treća faza u evoluciji SNR, koja se naziva izotermalna ili radijativna faza. Ona se naziva izotermalna jer je ljska uvek na istoj temperaturi zato što svu energiju koju udarni talas preda međuzvezdanoj materiji, preko koje prelazi, ostatak izrači. Iz ovoga se vidi da energija nije očuvana u ovom sistemu, međutim impuls jeste. U ovoj fazi ostatak ostaje dok brzina talasnog fronta ne padne ispod brzine zvuka za datu sredinu što iznosi nekoliko desetina hiljada godina, a važi $R \propto t^{1/4}$. Primeri SNRs u radijativnoj fazi su Cygnus Loop i Vela.

Poslednja faza u evoluciji SNR je faza rasipanja. U njoj se ostatak polako razgrađuje i sjedinjuje sa međuzvezdanom sredinom. U nekim diskusijama o evoluciji ostatka supernovih ova faza se ne opisuje kao posebna nego kao završni deo izotermalne faze pri kome ostatak prestaje da postoji. To se dešava na $\sim 10^6$ god.

5.2.3. Posmatranje ostataka supernovih na različitim frekvencijama

Iako je podela supernovih izvršena na osnovu izgleda njihovih spektara u domenu vidljivog zračenja, njihove ostatake možemo posmatrati u celom elektromagnetskom spektru. Na slici 5.3. vidimo Rakovu maglinu u različitim oblastima elektromagnetskog spektra. Na svim slikama se može videti difuzan sjaj koji potiče od sinhrotronskog zračenja relativističkih elektrona koji potiču od centralnog pulsara, koga najbolje vidimo u X domenu. Detaljnijim posmatranjem ovih slika možemo videti da se oblast iz koje se emituje sinhrotronsko zračenje (difuzan sjaj na slikama) smanjuje na svakoj narednoj slici koja je na manjim talasnim dužinama. To se dešava



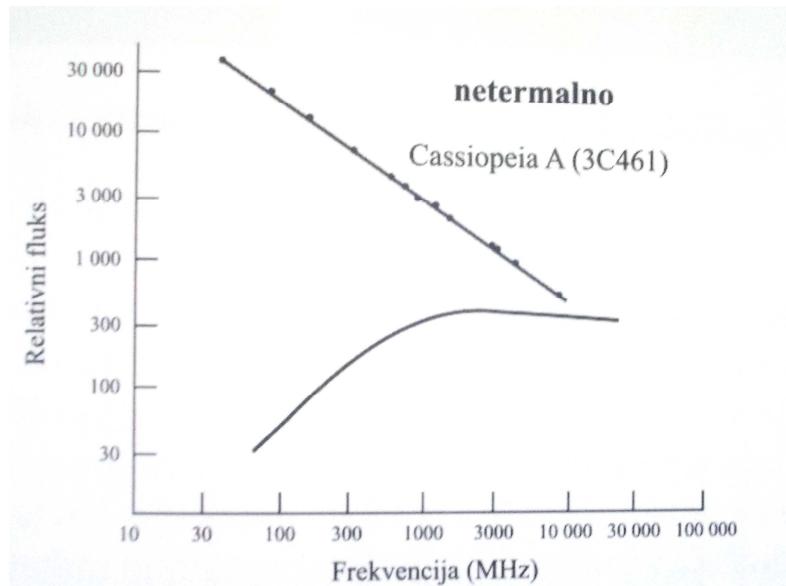
Slika 5.3: Rakova maglina u različitim delovima elektromagnetskog spektra.

jer elektroni imaju sve manju i manju energiju kako se udaljavaju od centralnog izvora jer je gube na sinhrotronsko zračenje manjih talasnih dužina. U infracrvenom domenu se pored sinhrotronskog zračenja (plavo) vidi i vredni gas (crveno), a u vidljivoj oblasti se može videti i filamentarna struktura gasa. Pored zračenja koje vidimo na ovim fotografijama, SNR-s zrače i u gama oblasti kroz linije radioaktivnih raspada i putem inverznog Komptonovog rasejanja na relativističkim elektronima. Kako je Sinhrotronsko zračenje dominantna komponenta zračenja iz ostataka supernovih, oni najintenzivnije zrače u radio domenu (Sinhrotronski spektar ima oblik stepenog zakona).

Postavlja se pitanje kako se u galaksijama mogu razlikovati ostaci supernovih i H II regioni? Na slici 5.4. vidimo poređenje tipičnog netermalnog sinhrotronskog radio-zračenja iz ostatka supernove Cas A sa karakterističnim termalnim spektrom zakočnog zračenja iz Orionove magline (H II region). Ovi radio spektri se razlikuju po tome što je spektar supernove intenzivniji na niskim frekvencijama i opada po stepenom zakonu, dok je spektar koji potiče iz H II regiona slab na niskim frekvencijama i postepeno raste dok ne dostigne neki plato, nakon čega postaje konstantan po intenzitetu, odnosno blago opada. Na osnovu ovih razlika u spektru se klasificuju

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

diskretni objekti u ovom radu. Spektralni indeks ostataka supernovih je $-1 \lesssim \alpha \lesssim -0.5$, a H II regiona $\alpha \gtrsim -0.5$. Pozadinski objekti imaju jako strmu zavisnost fluksa od frekvencije $\alpha \lesssim -1$.



Slika 5.4: Poređenje sinhrotronskog i zakočnog zračenja [6].

Pored ovoga prilikom širenja udarnog talasa u SNR-s dolazi do ubrzavanja čestica (elektrona, protona i α čestica) koje predstavlja glavni mehanizam ubrzavanja galaktičkog kosmičkog zračenja.

6. GALAKSIJA NGC 55

Galaksiju NGC 55 sa centrom RA(J2000) = $00^{\text{h}} 14^{\text{m}} 53.6^{\text{s}}$ i DEC(J2000) = $-39^{\circ} 11' 48''$ (slika 6.1.) je otkrio James Dunlop 4 avgusta, 1826. godine. Njena prividna veličina je 7.87, a dimenzije su joj $32'.4 \times 5'.6$. Ona je jedna od najbližih galaksija iz Sculptor grupe, međutim novija istraživanja ukazuju na to da je vrlo moguće da se NGC 55 zajedno sa NGC 300 nalazi između Lokalne grupe galaksija i Sculptor grupe na ~ 1.9 Mpc. Prepostavlja se da ove dve galaksije čine gravitaciono vezan par [1].



Slika 6.1: Galaksija NGC 55 u optičkoj oblasti [15].

Još uvek postoji nedoumica oko njene morfologije. U različitim studijama se klasificuje ili kao spiralna galaksija sa prečagom ili kao nepravilna galaksija magelanovog tipa. Skorašnja istraživanja ukazuju na to da je ona zapravo nepravilna galaksija magelanovog tipa SB(s)m, sa prečagom koja se vidi sa strane.

7. OBRADA PODATAKA

7.1. POSMATRAČKI PODACI

Da bi se dobole osetljive slike visoke rezolucije korišćen je veliki broj posmatranja NGC 55 koja su vršena sa Australia Telescope Compact Array (ATCA). Ova posmatranja su preuzeta sa Australian Telescope Online Archive (ATOA). Posmatranja koja su korišćena su prikazana u tabeli 7.1. ATCA projekat C287 je sniman u mozaik modu i u tabeli je dat broj usmerenja teleskopa za određeni datum.

Za sva posmatranja sa ATCA su kao primarni i sekundarni kalibrator korišćeni PKS 1934-638 i PKS 0008-421, respektivno. PKS je katalog radio izvora sa PARKES teleskopa. 1934-638 i 0008-421 su Gigahertz-peaked spectrum (GPS) radio galaksije prividnih veličina 18.9 i 24.3 koje se nalaze na crvenom pomaku $z = 0.183$ i $z = 1.130$, respektivno[16]. 1934-638 se koristi kao primarni kalibrator za većinu posmatranja sa ATCA jer ima poznat i stabilan fluks, a nema ni linearnu ni cirkularnu polarizaciju, a za ATCA rezoluciju je tačkasti objekat. Za sekundarne kalibratore je bitno da se nalaze na malom uglovnom rastojanju od posmatranog izvora, da imaju stabilan fluks i da su tačkasti objekti. Kalibracija se vrši zato što se stalno menjaju uslovi posmatranja (različit je šum koji dolazi od drugih objekata sa zemlje i iz svemira, dolazi do promene vremenskih uslova a samim tim i do promene signala, dolazi do promena u samim antenama usled npr. gravitacije itd).

Za obradu i analizu podataka su korišćeni MIRIAD [17], KARMA [18] softverski paketi [19].

Kod projekta	Broj usmerenja	RA (J2000) (h m s)	Dec (J2000) (° ' '')	Datumi	Instrument	Antenska konfiguracija	ν (MHz)	$\Delta\nu$ (MHz)	Primarni kalibrator	Sekundarni kalibrator
C287	3	00 15 8.44	-39 15 13.57	1.8.1993	ATCA	750D	1376, 2378	128	1934-638	0008-421
C287	8	00 15 2.85	-39 16 40.02	30.3.1994	ATCA	375	4800, 8640	128	1934-638	0008-421
C287	8	00 15 2.85	-39 16 40.02	31.3.1994	ATCA	375	4800, 8640	128	1934-638	0008-421
C287	3	00 15 8.44	-39 15 13.57	1.4.1994	ATCA	750D	1376, 2378	128	1934-638	0008-421
C287	8	00 15 16.47	-39 13 14.01	23.11.1994	ATCA	375	4800, 8640	128	1934-638	0008-421
C287	8	00 15 16.47	-39 13 14.01	24.11.1994	ATCA	375	4800, 8640	128	1934-638	0008-421
C287	3	00 15 8.44	-39 15 13.57	12.1.1995	ATCA	375	1376, 2378	128	1934-638	0008-421
C287	16	00 15 13.41	-39 13 2.18	1-2.3.1995	ATCA	750A	4800, 8640	128	1934-638	0008-421
C287	16	00 15 13.41	-39 13 2.18	16.8.1995	ATCA	375	4800, 8640	128	1934-638	0008-421
C287	3	00 15 8.44	-39 15 13.57	25.10.1995	ATCA	1.5D	1344, 2378	128	1934-638	0008-421

Tabela 7.1: Posmatrački podaci koji su korišćeni u radu

7.1.1. ATCA

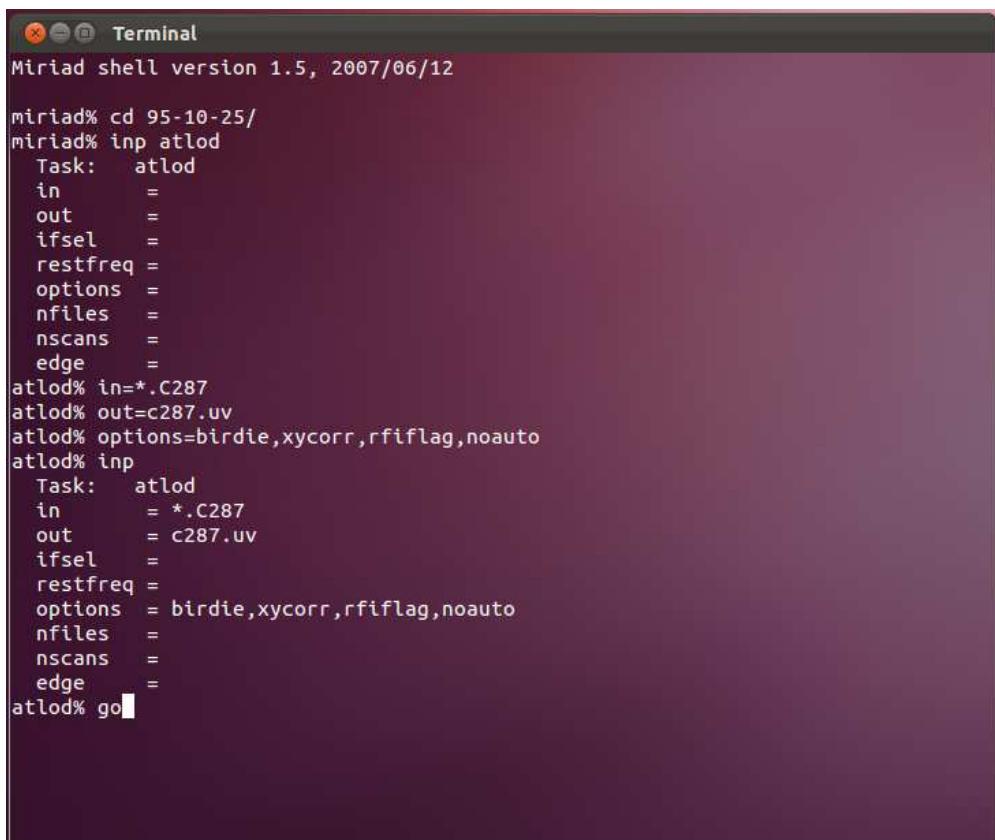
Australia Telescope Compact Array (ATCA) (Slika 7.1.) je radio interferometar koji se sastoji od šest antena prečnika 22 m. Nalazi u Culgoora 25 km zapadno od grada Narrabri u New South Wales u Australiji na nadmorskoj visini od 237 m. Nalazi se na geografskoj širini $-30^{\circ} 18' 46.385''$ južno i geografskoj dužini $149^{\circ} 33'00.500''$ istočno. Najveće moguće rastojanje između antena koje se može postići je 6 km, pri čemu je najzapadnija antena fiksana, a ostalih pet antena se mogu kretati duž pravca istok zapad. Teleskop se koristi za posmatranja na sedam traka na različitim talasnim dužinama, odnosno frekvencijama u rasponu od 27 cm (1.1 GHz) do 3 mm (105 GHz). Po ovome možemo zaključiti da je razdvojna moć koja se postiže u traci na 1.1 GHz $9.3''$, a u traci na 105 GHz $0.1''$. Minimalni teoretski fluks koji detektuje za vreme posmatranja od 10 min se kreće od 0.03 mJy/beam u traci na 1.1 GHz, do 0.73 mJy/beam u traci na 105 GHz. Njime upravlja ATNF (Australia Telescope National Facility).



Slika 7.1: ATCA (*Australia Telescope Compact Array* [20])

7.2. MIRIAD

MIRIAD je softver koji se pokreće kroz terminal Linux-a i sastoji iz velikog broja procedura koje se koriste za obradu astronomskih podataka. Procedure se izvršavaju tako što se pozove procedura pomoću naredbe **inp** "ime naredbe" nakon čega se izlistavaju svi parametri koji mogu da se podešavaju u proceduri, podese se svi parametri sa "ime parametra"="vrednost parametra" i naredbom **go** se pokreće procedura. U svakom trenutku se mogu videti vrednosti parametara pomoću naredbe **inp** (slika 7.2.). Pored ovih naredbi u MIRIAD-u se mogu koristiti i standardne naredbe terminala (npr. **cd** "ime direktorijuma" za prelazak na direktorijum).



```
Terminal
Miriad shell version 1.5, 2007/06/12

miriad% cd 95-10-25/
miriad% inp atlod
Task: atlod
in =
out =
ifsel =
restfreq =
options =
nfiles =
nscans =
edge =
atlod% in=*.C287
atlod% out=c287.uv
atlod% options=birdie,xycorr,rfiflag,noauto
atlod% inp
Task: atlod
in = *.C287
out = c287.uv
ifsel =
restfreq =
options = birdie,xycorr,rfiflag,noauto
nfiles =
nscans =
edge =
atlod% go
```

Slika 7.2: Osnovne naredbe u MIRIAD-u i pokretanje procedure ATLOD

Sirovi podaci sa ATCA imaju ekstenziju .dat. Oni se nakon snimanja prebacuju u FITS format (Flexible Image Transport System) i u tom formatu se čuvaju. Veliki broj astronomskih podataka se čuva u ovom formatu i može se reći da je ovo standardni format u kome se čuvaju podaci sa raznih teleskopa (on je i kreiran za skladištenje naučnih podataka).

U MIRIAD se učitavaju sirovi podaci koji su preuzeti sa <http://www.atnf.csiro.au/> i sortirani po datumima radi lakšeg kasnijeg snalaženja. Zatim se vrši kalibracija izvora, stvaranje slike i

Kotuš Srđan - Master rad

dekonvolucija. Posle izvršenja neke od procedura MIRIAD-a nastaje određeni broj direktorijuma u kojima se čuvaju delimično obrađeni podaci. U svakom direktorijumu postoji i history fajl u kome je zapisano koje su procedure i na koji način urađene. Ovde će prikazom delova history fajlova ili prikazom slika terminala i objašnjenjem šta se u kojoj proceduri izvršava, kako treba podesiti određene parametre i šta predstavljaju neki od parametara u njima biti objašnjen ceo postupak kako se dolazi do jedne od slike. Ostale slike se dobijaju na sličan način.

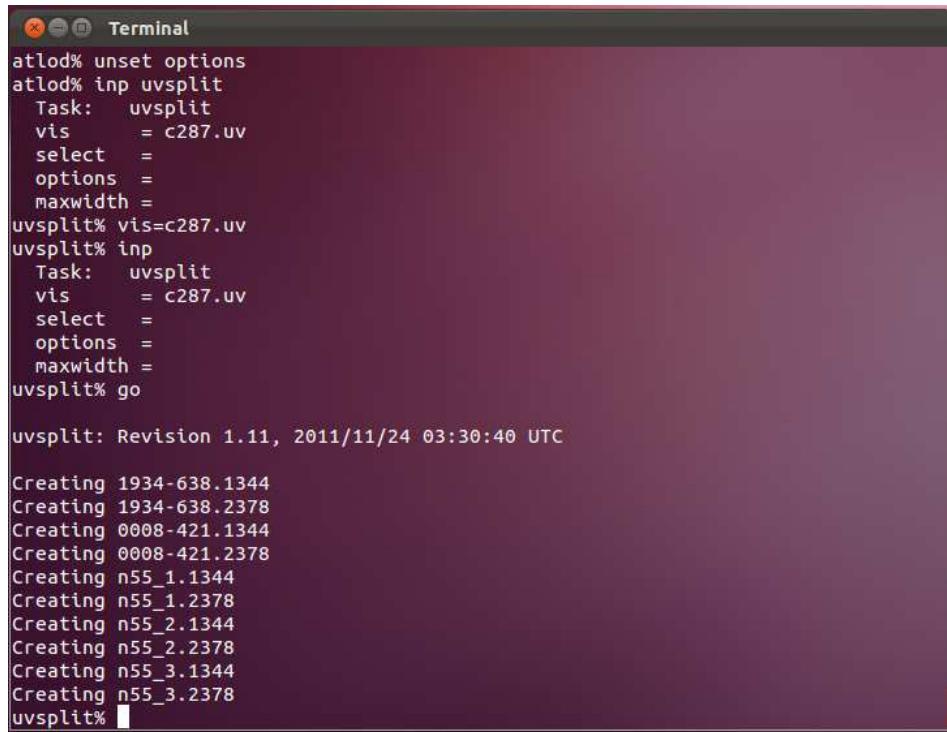
Pomoću MIRIAD procedure ATLOD se učitavaju uv podaci (vidljivi podaci koje snima teleskop) za svaki pojedinačan datum, koji su u RPFITS formatu (modifikovana verzija FITS-a). ATLOD procedura takođe vrši i pretvaranje ovih podataka u uv miriad podatke koji se smeštaju u uv direktorijum (Slika 7.3.).

```
ATLOD: Miriad atlod: Revision 1.37, 2011/12/12 02:32:58 UTC
ATLOD: Executed on: 12MAR19:08:14:11.0
ATLOD: Command line inputs follow:
ATLOD:   in=*.C287
ATLOD:   out=c287.uv
ATLOD:   options=birdie,xycorr,rfiflag,noauto
ATLOD:   Processing file 95-10-25_0425.C287
ATLOD:   RPFITS file version is unknown
ATLOD:   Total number of spectra selected: 2760
ATLOD:   Summary of spectra flagged
ATLOD:   Flagging Reason          Fraction
ATLOD:   -----
ATLOD:   Antenna off-source/off-line 18.8%
ATLOD:   Bad SYSCAL values        36.2%
ATLOD:   -----
ATLOD:   Processing file 95-10-25_0440.C287
ATLOD:   RPFITS file version is unknown
ATLOD:   Total number of spectra selected: 99120
ATLOD:   Summary of spectra flagged
ATLOD:   Flagging Reason          Fraction
ATLOD:   -----
ATLOD:   Antenna off-source/off-line 2.95%
ATLOD:   Bad SYSCAL values        0.48%
ATLOD:   -----
ATLOD:   Processing file 95-10-25_0850.C287
ATLOD:   RPFITS file version is unknown
ATLOD:   Total number of spectra selected: 253680
ATLOD:   Summary of spectra flagged
ATLOD:   Flagging Reason          Fraction
ATLOD:   -----
ATLOD:   Antenna off-source/off-line 2.01%
ATLOD:   Bad SYSCAL values        0.05%
ATLOD:   -----
ATLOD:   Processing file 95-10-25_1752.C287
ATLOD:   RPFITS file version is unknown
ATLOD:   Total number of spectra selected: 21960
ATLOD:   Summary of spectra flagged
ATLOD:   Flagging Reason          Fraction
ATLOD:   -----
ATLOD:   Antenna off-source/off-line 1.28%
ATLOD:   Bad SYSCAL values        1.00%
ATLOD:   -----
ATLOD:   No CACAL data was detected
```

Slika 7.3: History fajl za proceduru ATLOD. Praznine po vremenskoj osi na PGPlot graficima koji su dati u radu se javljaju usled toga što antene nisu usmerene prema izvoru (Antenna off-source/off line) ili usled toga što u tom periodu nije sniman taj objekat.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

Nakon toga se izvršava naredba UVSPLIT, pomoću koje se uv direktorijum razvrstava na pojedinačne direktorijume za svaki objekat/usmerenje teleskopa i za svaku frekvenciju koja je snimana u tom danu (Slika 7.4.). Kod ove procedure treba samo podesiti vis="ime ulaznog fajla"



```
Terminal
atlod% unset options
atlod% inp uvsplit
  Task:  uvsplit
  vis    = c287.uv
  select =
  options =
  maxwidth =
uvsplit% vis=c287.uv
uvsplit% inp
  Task:  uvsplit
  vis    = c287.uv
  select =
  options =
  maxwidth =
uvsplit% go

uvsplit: Revision 1.11, 2011/11/24 03:30:40 UTC

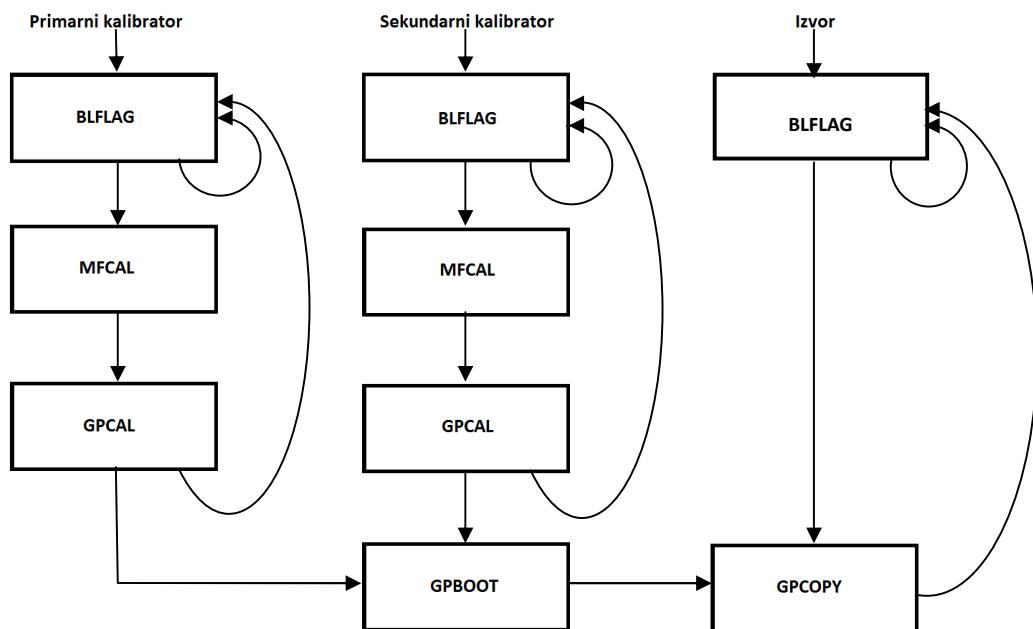
Creating 1934-638.1344
Creating 1934-638.2378
Creating 0008-421.1344
Creating 0008-421.2378
Creating n55_1.1344
Creating n55_1.2378
Creating n55_2.1344
Creating n55_2.2378
Creating n55_3.1344
Creating n55_3.2378
uvsplit%
```

Slika 7.4: Prikaz terminala prilikom izvršavanja procedure UVSPLIT

7.2.1. Kalibracija

Kao što je već rečeno u ovom radu se koriste primarni i sekundarni kalibrator. Kalibracija se vrši tako što se prvo uz pomoć primarnog kalibratora kalibriše sekundarni kalibrator i na kraju se pomoću sekundarnog kalibratora kalibriše izvor koji se posmatra. Primarni kalibrator se snima jedno kratko vreme pre nego što se počne snimati sam izvor i ne mora da se nalazi u blizini izvora. Tada se antene okrenu prema samom izvoru i on se snima, a sa vremena na vreme se antene na kratko okrenu prema sekundarnom kalibratoru da bi se on snimao, pa se opet vraćaju na sam izvor. Zbog tog okretanja antena, poželjno je da sekundarni kalibrator bude u blizini izvora.

Posle razdvajanja po frekvencijama se pristupa čišćenju podataka i kalibraciji po šemi sa slike 7.5. Pomoću BLFLAG procedure se čiste loše tačke merenja (bad data) koje se očitavaju na grafiku kroz program PG PLOT (amplituda u funkciji vremena i faza u funkciji vremena). Kada se izvrši procedura BLFLAG u MIRIAD-u otvara se PG PLOT prozor u kome se može vršiti interaktivno čišćenje, tako što se loše tačke označavaju levim dugmetom miša (može se označiti i neka površina na grafiku tako što se pritisne slovo p na tastaturi, označi površina koju je potrebno odstraniti i klikne desno dugme miša). PG PLOT interaktivno čišćenje se prekida tako što se klikne desno dugme miša. Na slici 7.6. je prikaz prvog izvršenja procedure BLFLAG u terminalu zajedno sa interaktivnim PG PLOT grafikom, gde vidimo da dolazi do promene boje tačaka koje u ovom koraku čistimo. Kada se završi čišćenje vrše se procedure MFCAL i GPCAL. Procedura

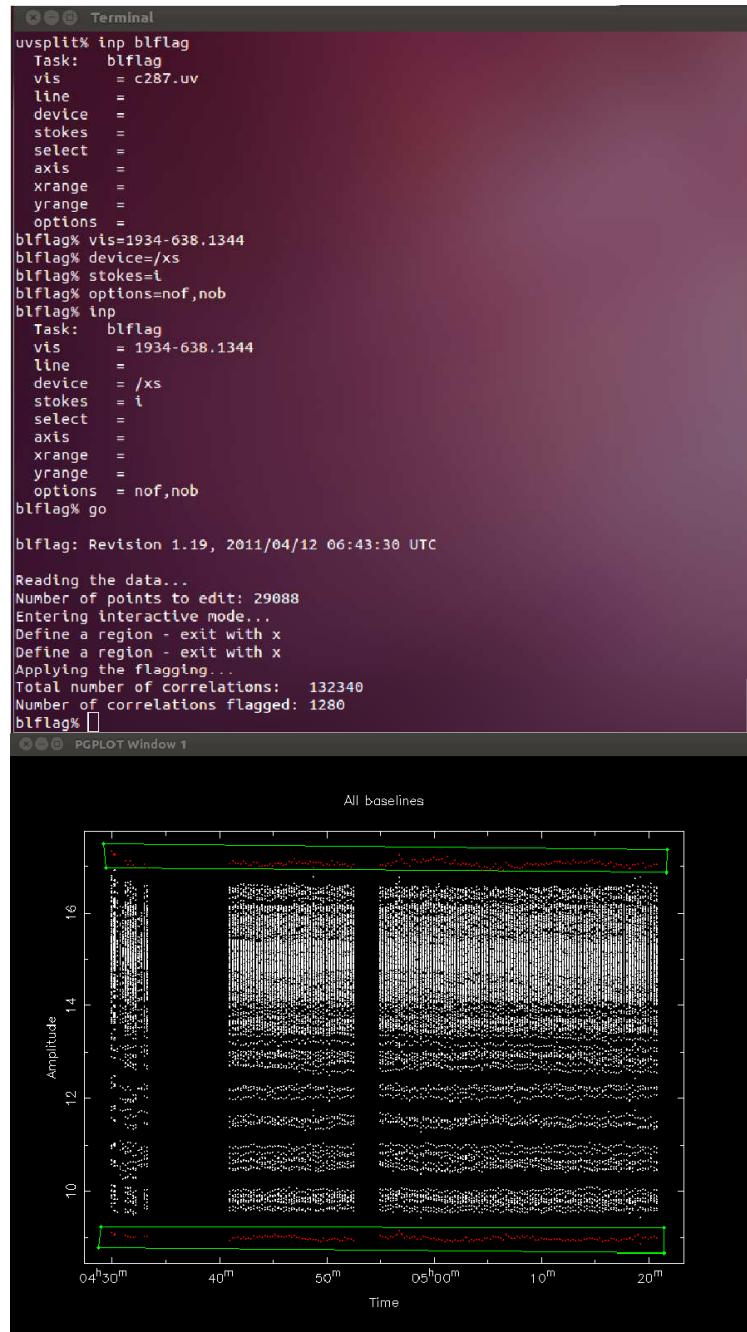


Slika 7.5: Šema čišćenja i kalibracije primarnog i sekundarnog kalibratora i izvora

MFCAL služi za utvrđivanje "bandpass" funkcije u vidljivom polju podataka i usmerenosti

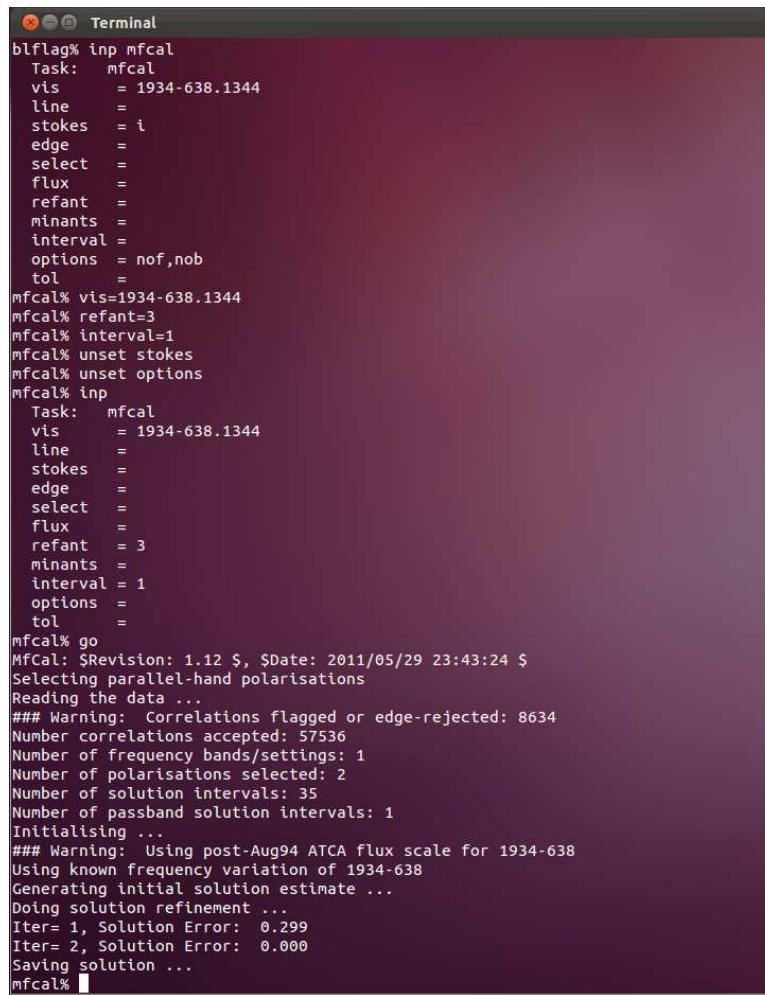
Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

antena, a prikaz njenog izvršavanja u terminalu je dat na slici 7.7. Usmerenost antena se utvrđuje sa pretpostavkom da izvor nije polarizovan (što je tačno za primarni kalibrator 1934-638) i da ne postoji instrumentalna polarizacija, što nije tačno. Procedura GPCAL se koristi za utvrđivanje i ispravljanje instrumentalne polarizacije, a prikaz njenog izvršavanja u terminalu je dat na slici 7.8. Posle toga se opet uradi BLFLAG da se proveri da li su se neke nove loše tačke pojavile nakon kalibracije. Ukoliko jesu, ceo postupak se ponavlja, a ukoliko nisu može se preći na isti postupak za sekundarni kalibrator. Jedina razlika kod sekundarnog kalibratora je u tome što se u parametar **options** kod procedure GPCAL dodaje i **qusolve** pored **xyvary** za primarni kalibrator. **Qusolve** daje rešenja za Q i U stoksove parametre (oni definišu stepen linearne polarizacije) i kod sekundarnog kalibratora se aktivira jer on ima dovoljno dobru pokrivenost paralaktičkog ugla. Konačni izgled PG PLOT grafika amplitude u funkciji od vremena za primarni kalibrator PKS 1934-638 na frekvenciji od 1344 MHz je dat na slici 7.9., a na slikama 7.10. i 7.11. je prikazan postupak čišćenja sekundarnog kalibratora PKS 0008-421 sa konačnim izgledom PG PLOT grafika amplitude u funkciji od vremena na slici 7.12.



Slika 7.6: Prikaz procedure *BLFLAG* u terminalu zajedno sa interaktivnim čišćenjem u programu *PGPLOT* za primarni kalibrator PKS 1934-638 na frekvenciji od 1344 MHz. *PGPLOT* grafik amplitude u funkciji od vremena. Tačke koje se čiste su crvene boje.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

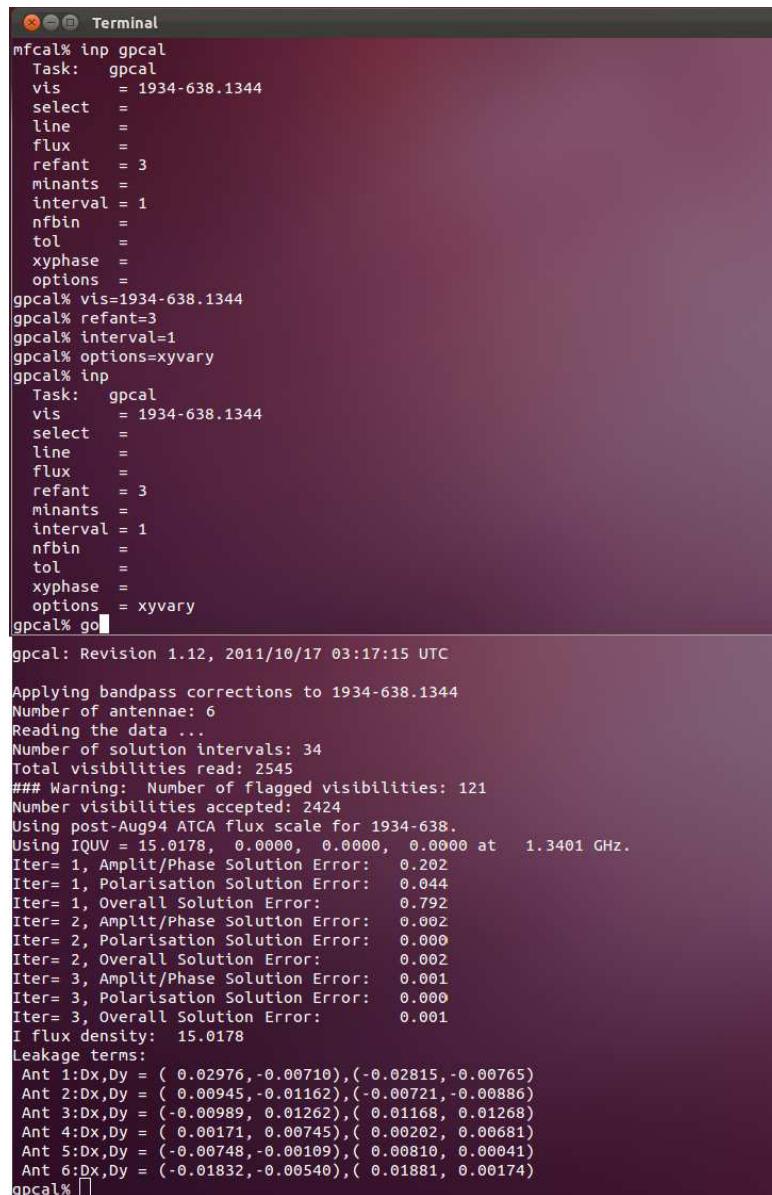


A screenshot of a terminal window titled "Terminal". The window contains a series of commands and their outputs related to the MFCAL procedure. The commands include setting parameters like vis, line, stokes, edge, select, flux, refant, minants, interval, options, tol, and go. It also shows the selection of parallel-hand polarisations and the reading of data. The process involves initialising, using a post-Aug94 ATCA flux scale, generating an initial solution estimate, doing solution refinement, and saving the solution. The MFCAL version is 1.12, and the date is 2011/05/29 at 23:43:24.

```
blflag% inp mfcal
Task:  mfcal
vis      = 1934-638.1344
line     =
stokes   = i
edge     =
select   =
flux     =
refant   =
minants =
interval =
options   = nof,nob
tol      =
mfcal% vis=1934-638.1344
mfcal% refant=3
mfcal% interval=1
mfcal% unset stokes
mfcal% unset options
mfcal% inp
Task:  mfcal
vis      = 1934-638.1344
line     =
stokes   =
edge     =
select   =
flux     =
refant   = 3
minants =
interval = 1
options   =
tol      =
mfcal% go
MfcCal: $Revision: 1.12 $, $Date: 2011/05/29 23:43:24 $
Selecting parallel-hand polarisations
Reading the data ...
### Warning: Correlations flagged or edge-rejected: 8634
Number correlations accepted: 57536
Number of frequency bands/settings: 1
Number of polarisations selected: 2
Number of solution intervals: 35
Number of passband solution intervals: 1
Initialising ...
### Warning: Using post-Aug94 ATCA flux scale for 1934-638
Using known frequency variation of 1934-638
Generating initial solution estimate ...
Doing solution refinement ...
Iter= 1, Solution Error:  0.299
Iter= 2, Solution Error:  0.000
Saving solution ...
mfcal%
```

Slika 7.7: Prikaz procedure MFCAL u terminalu.

Kotuš Srđan - Master rad

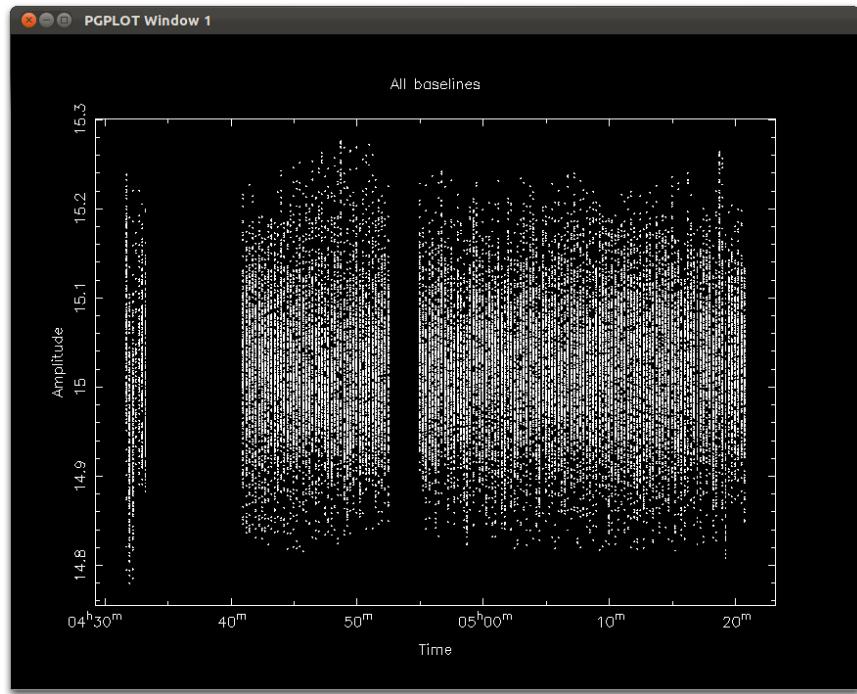


```
mfcal% inp gpcal
Task:  gpcal
vis     = 1934-638.1344
select   =
line    =
flux    =
refant  = 3
minants =
interval = 1
nfbins =
tol     =
xyphase =
options  =
gpcal% vis=1934-638.1344
gpcal% refant=3
gpcal% interval=1
gpcal% options=xyvary
gpcal% inp
Task:  gpcal
vis     = 1934-638.1344
select   =
line    =
flux    =
refant  = 3
minants =
interval = 1
nfbins =
tol     =
xyphase =
options  = xyvary
gpcal% go
gpcal: Revision 1.12, 2011/10/17 03:17:15 UTC

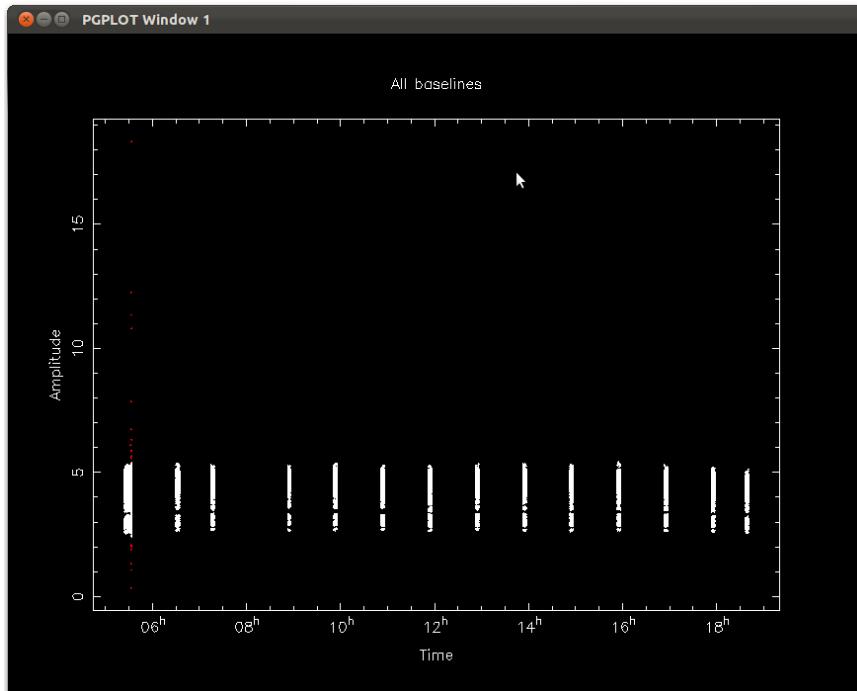
Applying bandpass corrections to 1934-638.1344
Number of antennae: 6
Reading the data ...
Number of solution intervals: 34
Total visibilities read: 2545
### Warning: Number of flagged visibilities: 121
Number visibilities accepted: 2424
Using post-Aug94 ATCA flux scale for 1934-638.
Using IQUV = 15.0178, 0.0000, 0.0000, 0.0000 at 1.3401 GHz.
Iter= 1, Amplit/Phase Solution Error: 0.202
Iter= 1, Polarisation Solution Error: 0.044
Iter= 1, Overall Solution Error: 0.792
Iter= 2, Amplit/Phase Solution Error: 0.002
Iter= 2, Polarisation Solution Error: 0.000
Iter= 2, Overall Solution Error: 0.002
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: 15.0178
Leakage terms:
Ant 1:Dx,Dy = ( 0.02976,-0.00710),(-0.02815,-0.00765)
Ant 2:Dx,Dy = ( 0.00945,-0.01162),(-0.00721,-0.00886)
Ant 3:Dx,Dy = (-0.00989, 0.01262),( 0.01168, 0.01268)
Ant 4:Dx,Dy = ( 0.00171, 0.00745),( 0.00202, 0.00681)
Ant 5:Dx,Dy = (-0.00748,-0.00109),( 0.00810, 0.00041)
Ant 6:Dx,Dy = (-0.01832,-0.00540),( 0.01881, 0.00174)
gpcal% []
```

Slika 7.8: Prikaz procedure GPCAL u terminalu.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

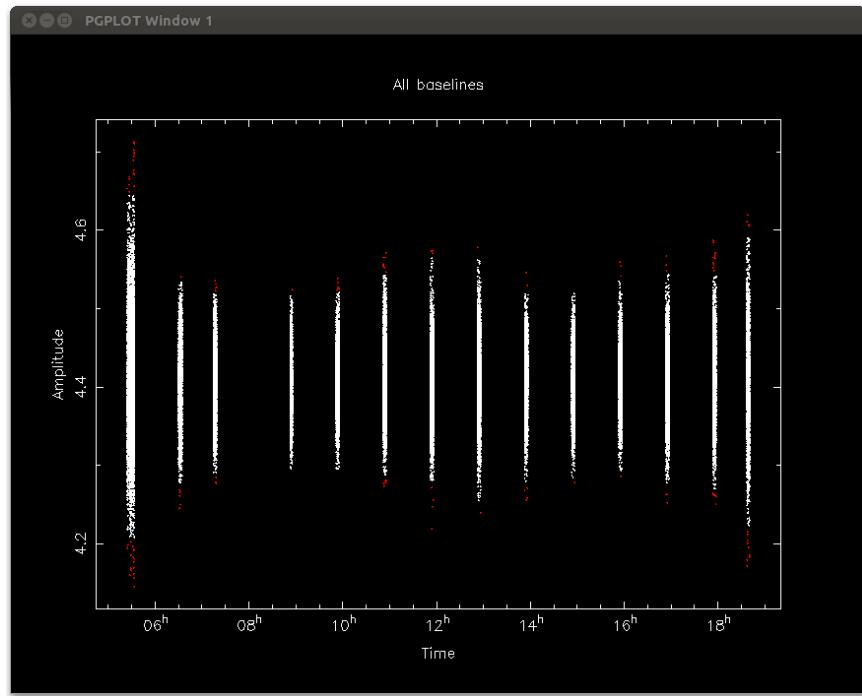


Slika 7.9: Prikaz primarnog kalibratora PKS 1934-638 na frekvenciji od 1344 MHz posle kalibracije i čišćenja. PGPLOT grafik amplitude u funkciji od vremena.

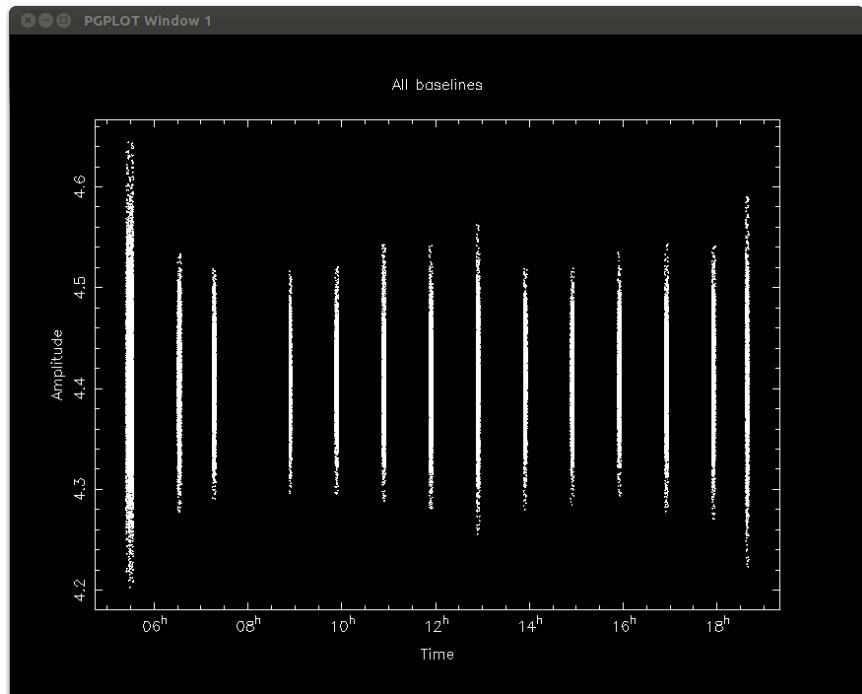


Slika 7.10: Prvi BLFLAG sekundarnog kalibratora PKS 0008-421 na frekvenciji od 1344 MHz. PGPLOT grafik amplitude u funkciji od vremena.

Kotuš Srđan - Master rad



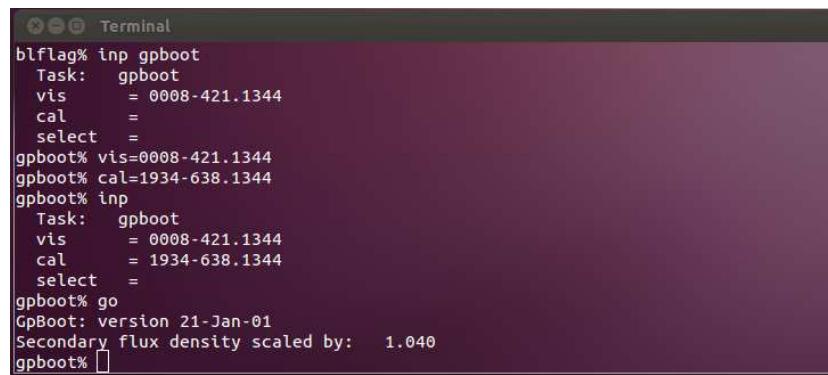
Slika 7.11: *BLFLAG sekundarnog kalibratora PKS 0008-421 na frekvenciji od 1344 MHz posle procedura MFCAL i GPCAL. PGPLOT grafik amplitude u funkciji od vremena.*



Slika 7.12: *Prikaz sekundarnog kalibratora PKS 0008-421 na frekvenciji od 1344 MHz posle kalibracije i čišćenja. PGPLOT grafik amplitude u funkciji od vremena.*

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

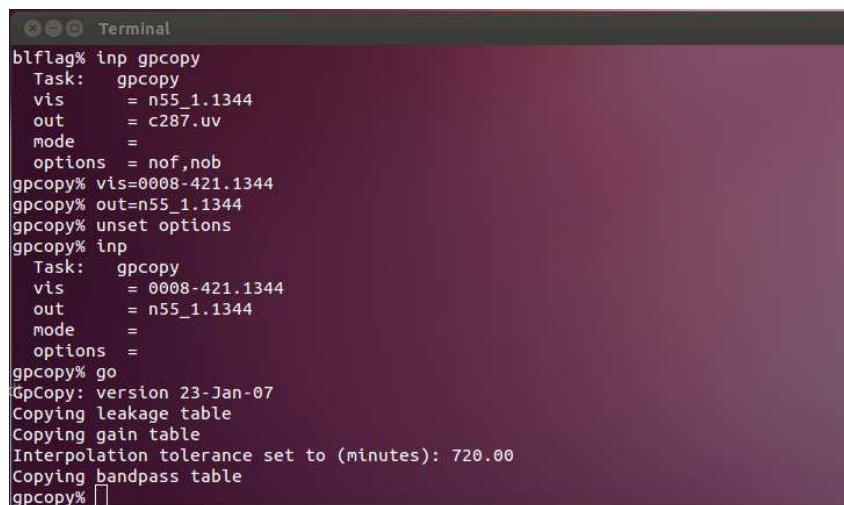
Nakon ovoga se izvršava procedura GPBOOT koja ispravlja gustinu fluksa sekundarnog kalibratora. Izvršavanje GPBOOT-a u terminalu je prikazano na slici 7.13. Gustina fluksa sekundarnog kalibratora određena je pod pretpostavkom da je standardna devijacija amplitude usmerenosti jednaka jedinici. Iako se usmerenosti antena pre početka posmatranja izjednačavaju (što je uobičajena procedura) postoji mala greška, pa je potrebno izvršiti ove izmene. Kako je ginston fluksa primarnog kalibratora poznata, potrebno je izmeniti ginston fluksa sekundarnog kalibratora, pa se usmerenost antena sekundarnog kalibratora pomoću procedure GPBOOT poboljšava tako da pokazuje pravu ginston fluksa sekundarnog kalibratora.



```
blflag% inp gpboot
Task: gpboot
vis      = 0008-421.1344
cal      =
select   =
gpboot% vis=0008-421.1344
gpboot% cal=1934-638.1344
gpboot% inp
Task: gpboot
vis      = 0008-421.1344
cal      = 1934-638.1344
select   =
gpboot% go
GpBoot: version 21-Jan-01
Secondary flux density scaled by: 1.040
gpboot%
```

Slika 7.13: Prikaz procedure GPBOOT u terminalu

Sam izvor se čisti na sličan način kao i kalibratori, pomoću procedure BLFLAG, sa tom razlikom što se čišćenje vrši i sa parametrom **axis**=real,imag, pomoću čega dobijamo PG PLOT grafik imaginarne ose u funkciji od realne. Kada se završi čišćenje pristupa se proceduri GPCOPY, koja kopira kalibracione ispravke (tabele curenja, usmerenosti antena i frekvencija) iz sekundarnog kalibratora u izvor koji se posmatra. Na kraju se izvor još jednom čisti ukoliko su se pojavile neke nove loše tačke i dobija se iskalibrисани izvor.

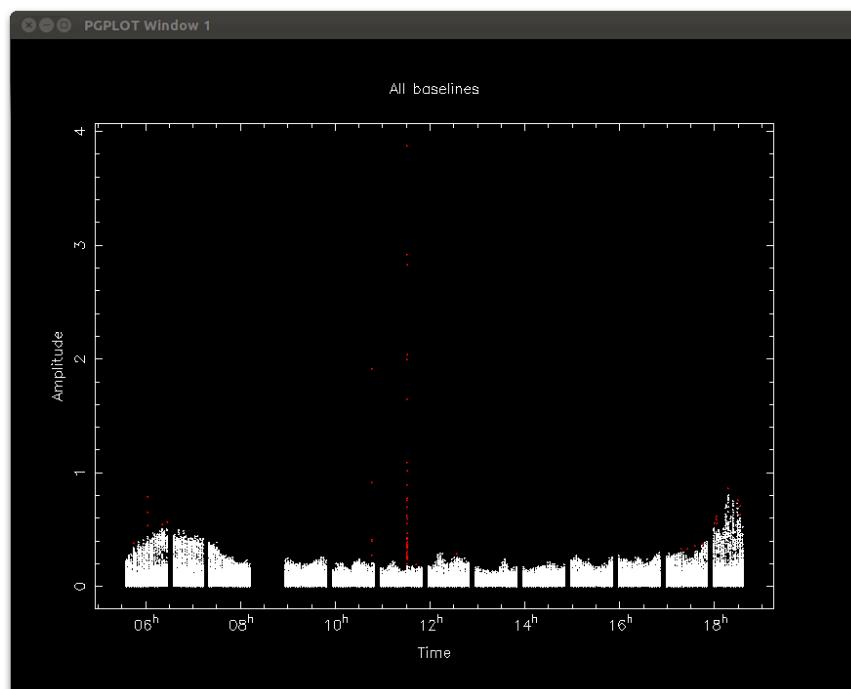


```
blflag% inp gpcopy
Task: gpcopy
vis      = n55_1.1344
out     = c287.uv
mode    =
options = nof,nob
gpcopy% vis=0008-421.1344
gpcopy% out=n55_1.1344
gpcopy% unset options
gpcopy% inp
Task: gpcopy
vis      = 0008-421.1344
out     = n55_1.1344
mode    =
options =
gpcopy% go
GpCopy: version 23-Jan-07
Copying leakage table
Copying gain table
Interpolation tolerance set to (minutes): 720.00
Copying bandpass table
gpcopy%
```

Slika 7.14: Prikaz procedure GPCOPY u terminalu

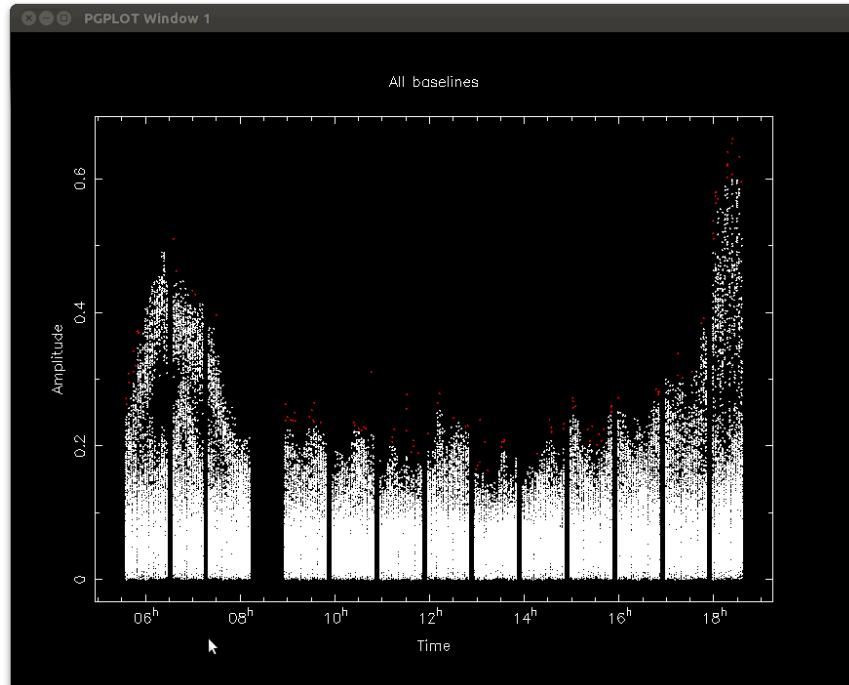
Kotuš Srđan - Master rad

Na slici 7.14. je prikazano izvršavanje procedure GPCOPY za jedno usmerenje teleskopa prema galaksiji NGC 55. Na slikama 7.15. i 7.16. je prikazan postupak njegovog čišćenja, a na slikama 7.17. i 7.18. konačni izgled PGPlot grafika amplitude u funkciji od vremena i imaginarnе ose u funkciji od realne.

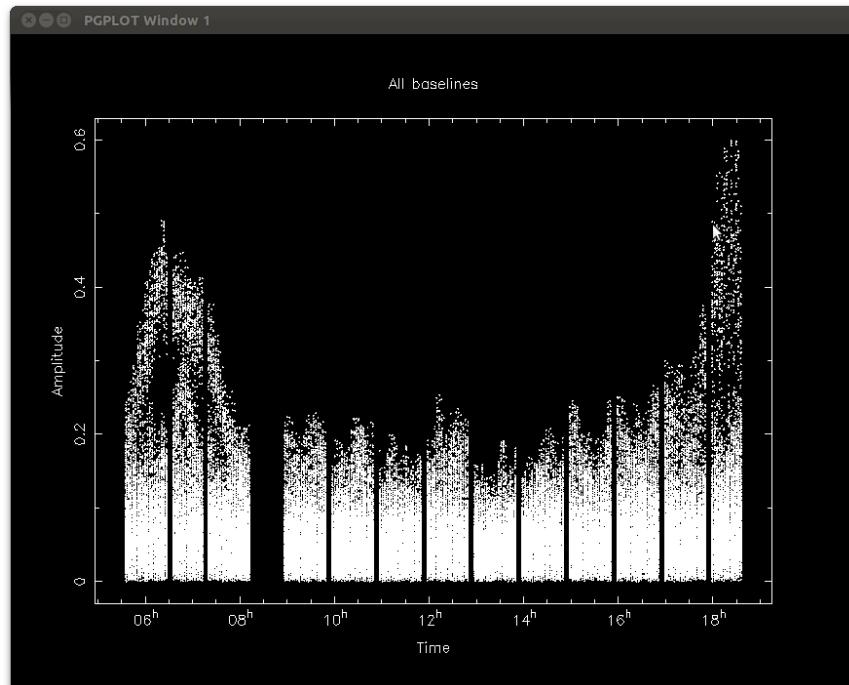


Slika 7.15: Prvi BLFLAG jednog od usmerenja teleskopa prema galaksiji NGC 55 na frekvenciji od 1344 MHz. PGPlot grafik amplitude u funkciji od vremena.

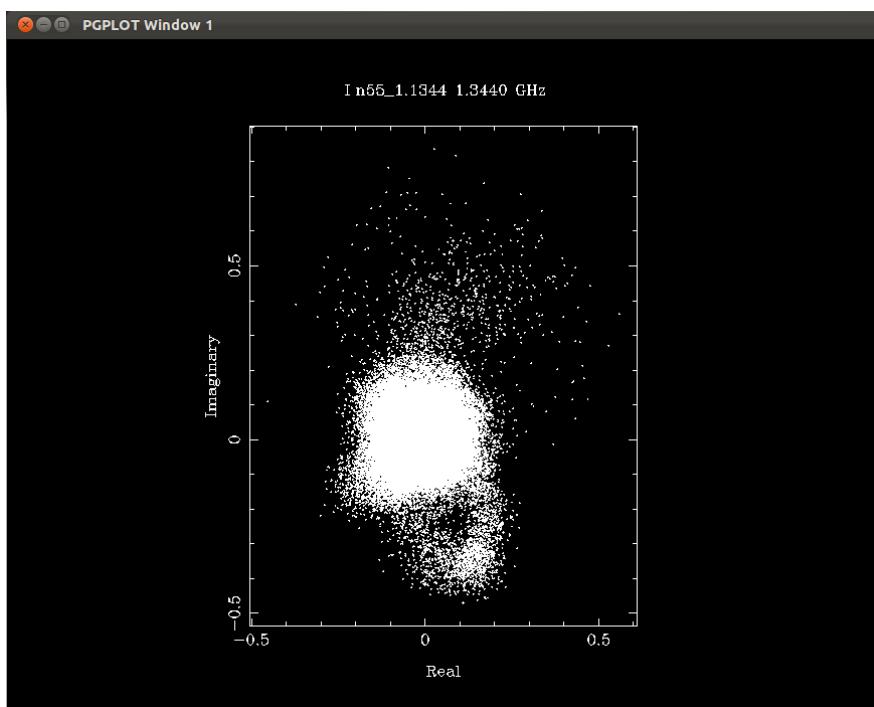
Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55



Slika 7.16: *BLFLAG jednog od usmerenja teleskopa prema galaksiji NGC 55 na frekvenciji od 1344 MHz posle procedure GPCOPY. PGPLOT grafik amplitude u funkciji od vremena.*



Slika 7.17: *Prikaz jednog od usmerenja teleskopa prema galaksiji NGC 55 na frekvenciji od 1344 MHz posle kalibracije i čišćenja. PGPLOT grafik amplitude u funkciji od vremena.*



Slika 7.18: Prikaz jednog od usmerenja teleskopa prema galaksiji NGC 55 na frekvenciji od 1344 MHz posle kalibracije i čišćenja. PGPLOT grafik imaginarne ose u funkciji od realne.

7.2.2. Dobijanje slika i dekonvolucija

Kada se završi sa kalibracijom sledeća procedura je dobijanje slika i njihova dekonvolucija. Ovo se postiže pomoću tri MIRIAD procedure: INVERT, MOSSDI i RESTOR.

U zavisnosti od toga da li želimo dobiti pojedinačne slike za svaki datum iz tabele 7.1. ili jedinstvenu sliku za određenu frekvenciju za sve datume, možemo menjati parametar **vis** kod INVERT-a. Na slici 7.19. je prikazano izvršenje procedure INVERT. Parametar **robust** se odnosi na prirodnu raspodelu. Vrednost od 0.5 daje približnu osetljivost kao i prirodna raspodela (što se postiže podešavanjem **sup=0**), ali sa mnogo boljim snopom. Pored ovoga treba staviti parametar **options=mosaic,double,mfs**. Mosaic se stavlja zbog toga što se kao ulazni parametar stavlja više

```

invert% inp
  Task:  invert
    vis      = n55_1.1344,n55_2.1344,n55_3.1344
    map     = n55_a_1344 imap
    beam    = n55_a_1344 beam
    imsize  = 1800
    cell    =
    offset   =
    fwhm    =
    sup     =
    robust  = 0.5
    line    =
    ref     =
    select   =
    stokes  = i
    options = mosaic,double,mfs
    mode    =
    slop    =
invert% go

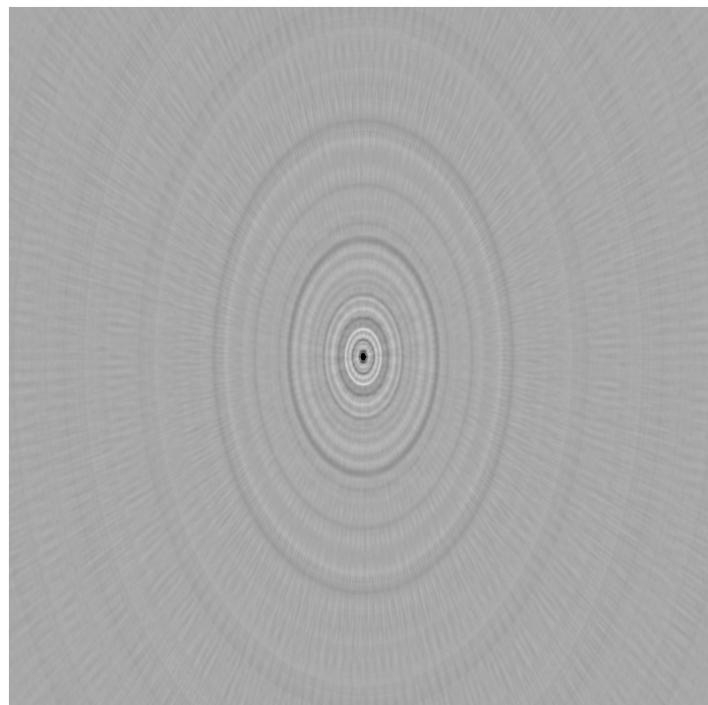
invert: Revision 1.12, 2011/11/09 02:43:08 UTC

Reading the visibility data ...
Applying bandpass corrections to n55_1.1344
Applying gain corrections to n55_1.1344
Applying polarization leakage corrections to n55_1.1344
Making MFS images
Applying bandpass corrections to n55_2.1344
Applying gain corrections to n55_2.1344
Applying polarization leakage corrections to n55_2.1344
Applying bandpass corrections to n55_3.1344
Applying gain corrections to n55_3.1344
Applying polarization leakage corrections to n55_3.1344
Visibilities accepted: 476656
### Warning:  Visibilities rejected: 40666
Number of pointings: 3
Mean Frequency(GHz): 1.34
Doing the geometry calculations ...
Sidelobe suppression area is 10248x10248 arcsec
... this corresponds to uniform weighting
Calculating the weights ...
Applying weights and geometry corrections ...
Theoretical rms noise: 6.968E-05
... assuming pointings do not overlap
Forming the beam ...
Finished gridding 50% ...
Forming Stokes I image ...
Mosaicing the image ...
Completed 100% !
invert%

```

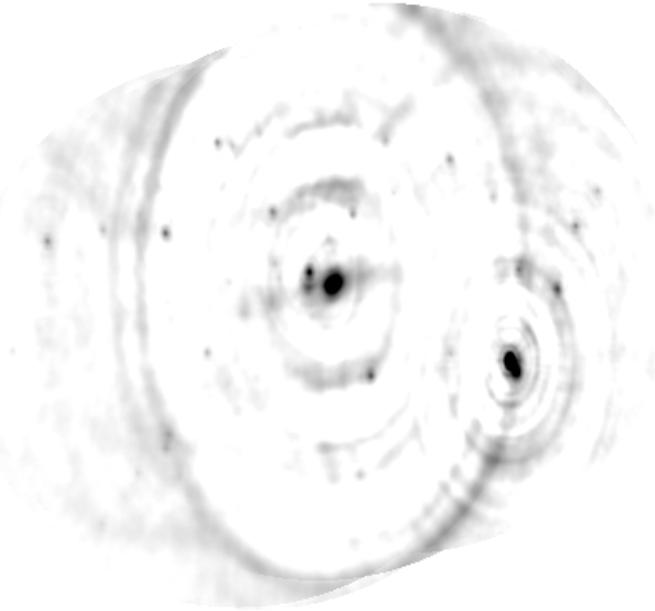
Slika 7.19: Prikaz procedure INVERT u terminalu.

usmerenja teleskopa, **double** se stavlja zbog toga što je procedurama za dekonvoluciju u MIRIAD-u potrebno da slika snopa ima četiri puta veću površinu od površine koja se dekonvoluirala, što se postiže ovom opcijom, a **mfs** obezbeđuje multifrekvencionu sintezu kod slike. Procedura INVERT se koristi za dobijanje dve slike iz vidljivih podataka. Jedna od njih je .beam slika koja predstavlja sliku glavnog snopa u uv ravni sa mnoštvom sporednih snopova (slika 7.20.), a druga je .imap slika za Stoksov i parametar (slika 7.21.). Ove slike su prikazane u programu KVIS, koji je deo programskega paketa KARMA, koji se koristi za dalju obradu slika, o čemu će biti više reči u poglavljiju 7.3.



Slika 7.20: Slika .beam koja se dobija pomoću procedure INVERT prikazana sa programom KVIS iz programskega paketa KARMA.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55



Slika 7.21: *Slika .imap koja se dobija pomoću procedure INVERT prikazana sa programom KVIS iz programskog paketa KARMA.*

Nakon ovoga sledi dekonvolucija. Ona se kod mozaik slika vrši pomoću procedure MOSSDI, koji je modifikacija procedure CLEAN namenjena za mozaik slike[22]. Na slici 7.22. je prikaz izvršavanja procedure MOSSDI u terminalu. Parametri **beam** i **map** određuju ulazne slike, **out** određuje izlaznu, a **niters** broj iteracija. Procedura MOSSDI prikazuje sliku kao veliki broj tačkastih izvora posmatranog objekta i na njoj traži najsvetlij i piksel (tzv. Clean component) u određenom području slike i nalazi položaje i jačine ovih tačkastih izvora. U idealnom slučaju našle bi se samo pozitivne komponente, međutim, pojavljuju se i negativne komponente. Nakon toga MOSSDI u iterativnoj proceduri oduzima .beam sliku od .imap slike i kao rezultat ovog oduzimanja nastaje "residual image" (slika 7.23.). Iterativna procedura se ponavlja dok se ne redukuju sporedni snopovi koji su vidljivi na slici ispod nivoa šuma. Slika koju dobijamo ima gustinu fluksa izraženu u Jy/pixel.

Kotuš Srđan - Master rad

```
Terminal
mosmdi% inp
Task:  mosmdi
map   = n55_a_1344 imap
beam  = n55_a_1344 beam
model =
out   = n55_a_1344 icmp
gain  =
niters = 10000
cutoff =
clip   =
region =
options =
mosmdi% go
mosmdi: Revision 1.8, 2011/10/31 00:37:30 UTC
Beginning to CLEAN ...
Steer Iterations: 5
Residual min,max,rms: -5.356E-03 4.080E-02 6.441E-04
Total CLEANed flux: 6.659E-03
Steer Iterations: 13
Residual min,max,rms: -4.740E-03 3.504E-02 6.257E-04
Total CLEANed flux: 1.498E-02
Steer Iterations: 19
Residual min,max,rms: -4.229E-03 2.989E-02 6.099E-04
Total CLEANed flux: 2.292E-02
Steer Iterations: 21
Residual min,max,rms: -4.214E-03 2.989E-02 6.066E-04
Total CLEANed flux: 2.537E-02
Steer Iterations: 8932
Residual min,max,rms: -1.083E-03 1.540E-03 2.386E-04
Total CLEANed flux: 3.962E-01
Steer Iterations: 9102
Residual min,max,rms: -1.063E-03 1.381E-03 2.350E-04
Total CLEANed flux: 4.053E-01
Steer Iterations: 10550
Residual min,max,rms: -1.014E-03 1.351E-03 2.272E-04
Total CLEANed flux: 4.176E-01
mosmdi%
```

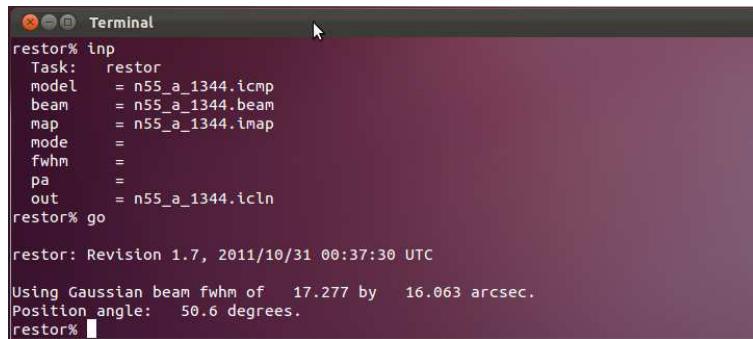
Slika 7.22.: Prikaz procedure MOSSDI u terminalu



Slika 7.23: Slika .icmp koja se dobija pomoću procedure MOSSDI prikazana sa programom KVIS iz programskega paketa KARMA.

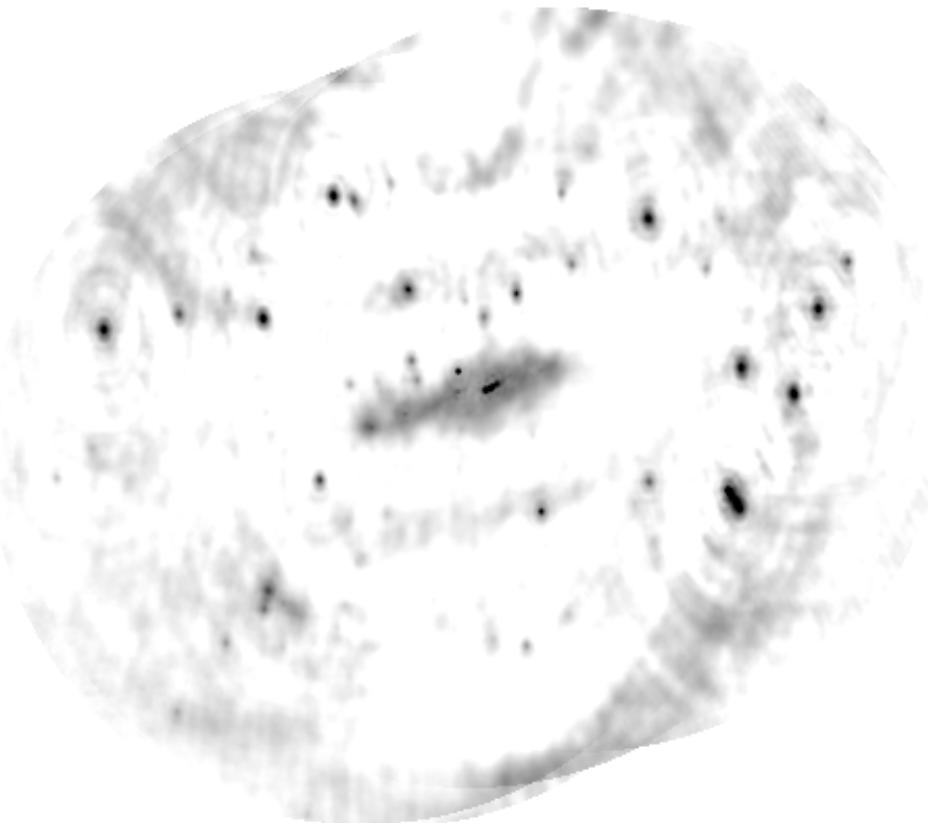
Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

Da bi konačno videli šta je ostalo na slici nakon dekonvolucije, pomoću procedure RESTOR se slika 7.23. koja se dobija pomoću procedure MOSSDI oduzima od .imap slike 7.21. Prikaz izvršavanja procedure RESTOR u terminalu je dat na slici 7.24. Model, beam i map su ulazne slike, a out je izlazna slika. Kao krajnji rezultat dekonvolucije dobijamo čistu sliku 7.25. Prilikom izvršavanja ove procedure u terminalu se prikazuju i dimenzije sintetisanog snopa.



```
restor% inp
Task:    restor
model   = n55_a_1344.icmp
beam    = n55_a_1344.beam
map     = n55_a_1344 imap
mode    =
fwhm   =
pa     =
out    = n55_a_1344.icln
restor% go
restor: Revision 1.7, 2011/10/31 00:37:30 UTC
Using Gaussian beam fwhm of 17.277 by 16.063 arcsec.
Position angle: 50.6 degrees.
restor%
```

Slika 7.24: Prikaz procedure RESTOR u terminalu



Slika 7.25: Slika .icln koja se dobija pomoću procedure RESTOR prikazana sa programom KVIS iz programskog paketa KARMA.

7.2.3. Određivanje gustine fluksa i spektralnog indeksa galaksije

Da bi se odredila gustina fluksa galaksije izvršava se još nekoliko procedura. Prvo se pomoću procedure HISTO (**in**="slika.icln") pored ostalih podataka dobija i standardna devijacija $\sigma_1 = \text{Rms}$. Ova standardna devijacija se odnosi na celu obrađenu sliku, a kao što vidimo sa slike 7.25. nama je od interesa samo centralni objekat, pa nam σ_1 pokazuje samo red veličine prave standardne devijacije.

Nakon ovoga pristupamo izvršavanju procedure CGCURS. Ova procedura nam služi za dve stvari: da odredimo pravu standardnu devijaciju σ i da nacrtamo region oko galaksije na 3σ koji će nam koristiti za dalju analizu. Na slici 7.26. je prikaz izvršavanja procedure CGCURS u terminalu, a na slici 7.27. izgled PGPLOT grafika koji se dobija nakon izvršavanja ove procedure.

```

cgcurs% inp
Task: cgcur
in   = n55_a_2378.icln/
type = both
region =
xybin =
chan =
slev = a,4.01472E-4
levs = 1.8
range = 0,0.002,lin
device = /xs
nxy =
labtyp = hms,dms
options = region
3format =
csize =
cgcurs% go

cgcurs: Revision 1.6, 2010/07/28 05:30:11 UTC

*** Region of interest output to cgcur.region
Tabulating linear black and white table
*****
Entering region of interest option
*****
Click left button (enter A) to mark vertex
Click middle button (enter D) to delete previous vertex
Click right button (enter X) to finish polygon

Draw another region with this display: A
Draw another region after redisplaying: R
Finish region option: X

cgcurs%

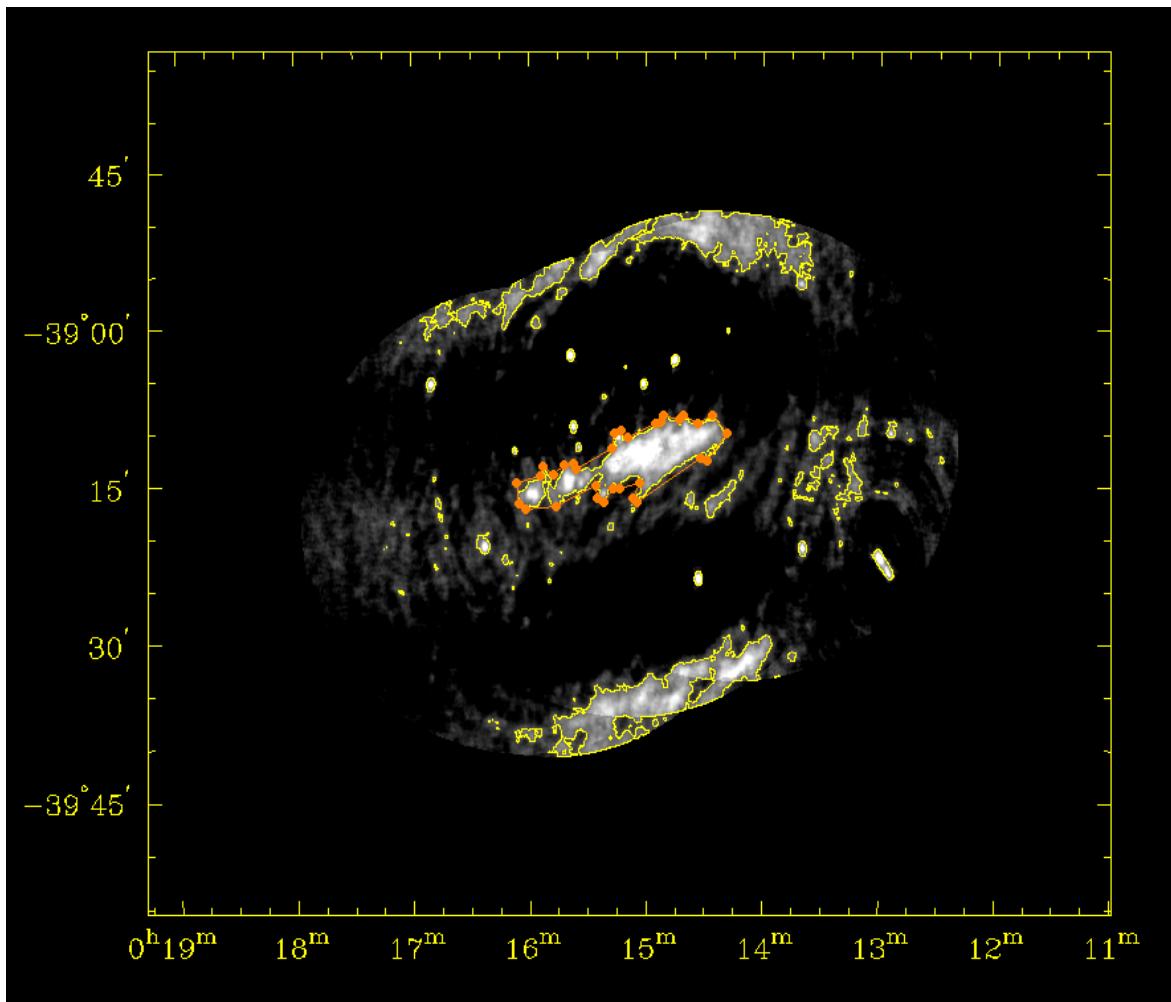
```

Slika 7.26: Prikaz procedure CGCURS u terminalu

Neke od parametara u ovoj proceduri treba pažljivo podesiti da bi dobili korektne rezultate. Da bi ulaznu sliku u procedura koristila i kao mapu i kao konturu na tu sliku treba podesiti **type=both**. Parametar **range** ima tri argumenta. Prvi i drugi argument služe da se podesi minimalna i maksimalna gustina fluksa koja će biti prikazana na PGPLOT grafiku, a treći se

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

podešava na lin da bi dobili linearnu zavisnost od minimuma do maksimuma. Prvi argument se postavlja na 0, a drugi se podešava tako da kada izvršimo proceduru dobijemo dovoljno svetlu galaksiju. Posle ovoga treba podesiti parametre **slev** i **levs**. Parametar **slev** ima dva argumenta. Prvi treba postaviti na a, što znači da će on uzimati absolutnu vrednost parametra **levs**, a drugom treba dodeliti vrednost σ_1 koju smo dobili u proceduri HISTO. Parametar **levs** treba podesiti na vrednost pri kojoj nakon izvršavanja procedure dobijemo takvu konturu (žuta linija na slici 7.28.) da je cela galaksija unutar konture, a da je oblast izvan konture šum. Kada podesimo parametar **options** na region i pokrenemo proceduru u mogućnosti smo da crtamo region oko galaksije u PG PLOT-u koji se kada se završi procedura čuva u fajlu `cgcurs.region` čiji sadržaj koristimo dalje u proceduri IMSTAT. Standardnu devijaciju σ određujemo iz $\sigma = \text{levs} \cdot \sigma_1/3$.



Slika 7.27: PG PLOT grafik koji se dobija nakon izvršenja procedure CGCURS. Deklinacija u funkciji od rektascenzije. Svetlige oblasti imaju veću gustinu fluksa. Žute linije prikazuju konturu oko oblasti iznad 3σ . Narandžasta linija predstavlja iscrtani region koji se koristi u proceduri IMSTAT.

Kotuš Srđan - Master rad

Nakon ovoga se izvršava procedura IMSTAT (slika 7.28.). Pomoću ove procedure dobijamo parametar **sum** koji nam je potreban da bi izračunali ukupnu gustinu fluksa galaksije. U ovoj proceduri treba podesiti parametar **cutoff=0** i **region="sadržaj fajla cgcurc.region"** da bi se procesuirala samo gustina fluksa koja je pozitivna i samo unutrašnjost galaksije koja je određena u prethodnoj proceduri.

```

imstat% inp
Task: imstat
> in      = n55_a_1376.icln/
region  = arcsec,poly(-593.21,253.55,-349.58,8.01,-233.29,7.68,-128.7,-108.76
,57.45,-108.83,115.61,-97.16,138.9,-131.99,231.93,-73.71,348.38,-166.34,418.18,-
154.46,604.38,-165.14,685.59,-71.65,673.68,32.92,580.5,102.14,545.4,206.7,510.52
,218.16,406.04,159.48,359.49,205.87,382.57,310.78,359.24,380.61,266.38,345.36,26
6.55,182.3,103.81,321.75,-23.95,345.01,-140.04,415.03,-163.28,380.1,-325.78,427.
12,418.73,380.84,-523.21,392.98,-604.74,288.56)
> axes   =
> plot    =
> cutoff  =
> device  = /xs
> options =
> beam   =
> log    =
imstat% go

imstat: Revision 1.7, 2011/07/28 05:58:43 UTC

***** Statistics of image n55_a_1376.icln/ *****
  Bounding box: brc=(885,914,1,1), trc=(1207,1063,1,1)
  Unit of datavalues: JY/BEAM
  Unit of statistics: JY/BEAM
  Axes of planes : RA---NCP, DEC--NCP

Axis 4 (STOKES): 1
Axis 3 (FREQ-LSR)
Plane Frequency Sum Mean rms Maximum Minimum Npoints
  1       1.4    95.4  3.272E-03 1.622E-03 2.219E-02-9.746E-04 29159
### Fatal Error: X-range of plot is 0

```

Slika 7.28: Prikaz procedure IMSTAT u terminalu

```

prthd% inp
Task: prthd
in      = n55_a_2378.icln/
log    =
options =
prthd% go

prthd: Revision 1.7, 2011/10/06 05:10:12 UTC

*****
Filename: n55_a_2378.icln/
Telescope: ATCA
Object: n55_1           Observer: B.Wells
Image type: intensity
Maximum:  1.60042085E-02  Minimum: -2.72251060E-03  JY/BEAM
Beam Size:  9.00 by 9.00 arcsec.
Position angle:  0.0 degrees.
This image has 4 axes.

Type    Pixels  Coord Value at Pixel    Coord Incr  Units
RA---NCP  2299    0:15:08.441   1150.00  -2.500000E+00  arcsec
DEC--NCP  1978    -39:15:13.34    990.00   2.500000E+00  arcsec
FREQ-LSR     1    2.377169E+00      1.00   8.000000E-03  GHz
STOKES      1        I

-----
pv1:    0
pv2:   -1.22377732
Average time of observation: 940CT20:05:19:18.8
Equinox:          J2000.0
Observatory radial velocity: 12.92 km/s
Number of iterations: 13563
History item is present
Mosaicing information table is present
prthd%

```

Slika 7.29: Prikaz procedure PRTHD u terminalu

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

Pored ovoga treba izvršiti i proceduru PRTHD (**in**="slika.icln") pomoću koje dobijamo veličinu snopa BS i veličinu piksela na slici PS (slika 7.29.). Veličina snopa se dobija kao proizvod dve dimenzije snopa, a $PS = (Coord\ Incr)^2$. Treba obratiti pažnju da odnos dimenzije snopa i Coord Incr treba da bude između 3 i 4. Ukoliko to nije slučaj dolazi do "oversampling" i trebalo bi ponoviti sve procedure od INVERT-a, prilikom čega treba u INVERT-u podesiti **fw hm**="dimenzija snopa" i **cell**="dimenzija snopa/4", a u RESTOR-u **fw hm**="dimenzija snopa".

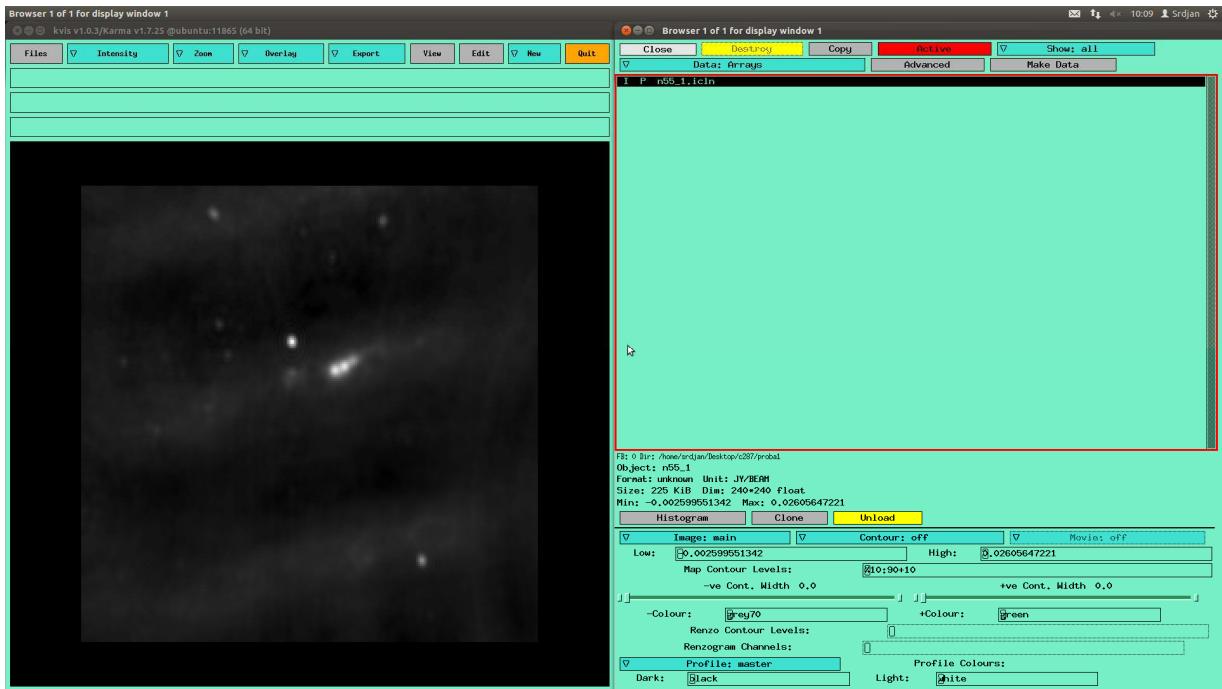
Konačno, možemo odrediti gustinu fluksa S_ν pomoću formule:

$$S_\nu = \text{sum}/(1.133(BS/PS)) \quad (7.1)$$

Kada odredimo gustinu fluksa na svim frekvencijama, lako možemo odrediti i spektralni indeks. Spektralni indeks i grafik gustine fluksa u zavisnosti od frekvencije su dobijeni pomoću programa SPECINDEX [23]. U ovaj program se unesu vrednosti frekvencija i vrednosti gustine fluksa na datim frekvencijama, respektivno, i on na osnovu tih podataka crta linearни fit njihove zavisnosti i određuje spektralni indeks.

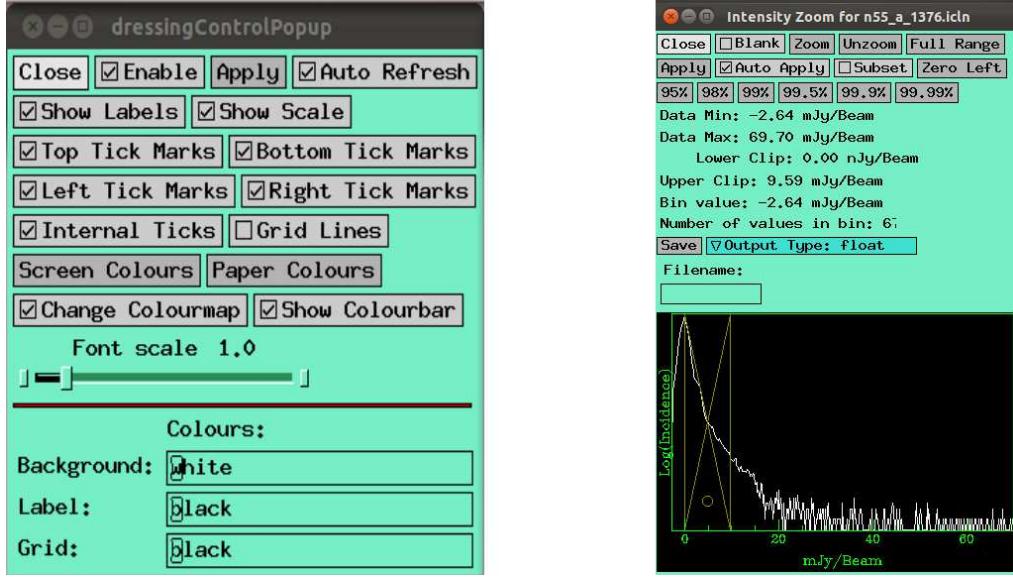
7.3. KARMA

Dalja obrada se vrši pomoću programa KVIS iz programskog paketa KARMA. Slika .icln se učita pomoću menija **files**, zatim se pomoću menija **overlay→axis labels** (slika 7.30.) otvor prozor (slika 7.31. levo) pomoću koga se nameste ose rektascenzije i deklinacije, prikaže skala gustine fluksa i invertuju boje. Pomoću dugmeta **histogram** se otvor prozor (slika 7.31. desno) na kome se podeši raspon skale gustine fluksa.



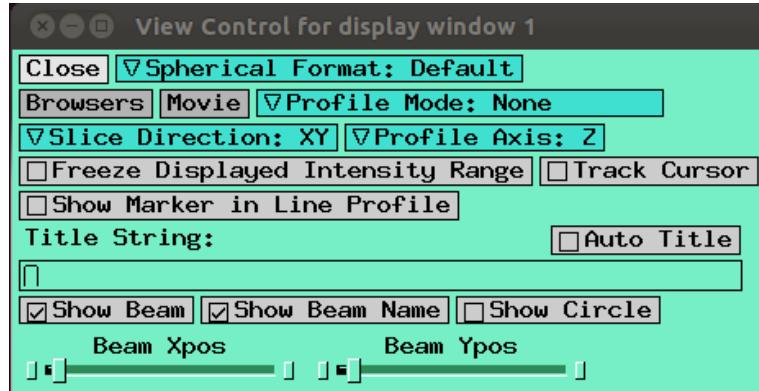
Slika 7.30: Izgled programa KVIS nakon učitavanja slike objekta.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55



Slika 7.31: Desno je prozor pomoću koga se na sliku dodaju ose, menja boja i prikazuje skala gustibe fluksa, a levo prozor histogram pomoću koga se podešava minimalni i maksimalni intenzitet gustine fluksa koji je na slici prikazan

Posle ovih podešavanja na sliku treba ubaciti sintetisani snop. To se radi pomoću prozora (slika 7.32.) koji se otvara klikom na dugme **view** sa slike 7.30. U ovom prozoru takođe možemo



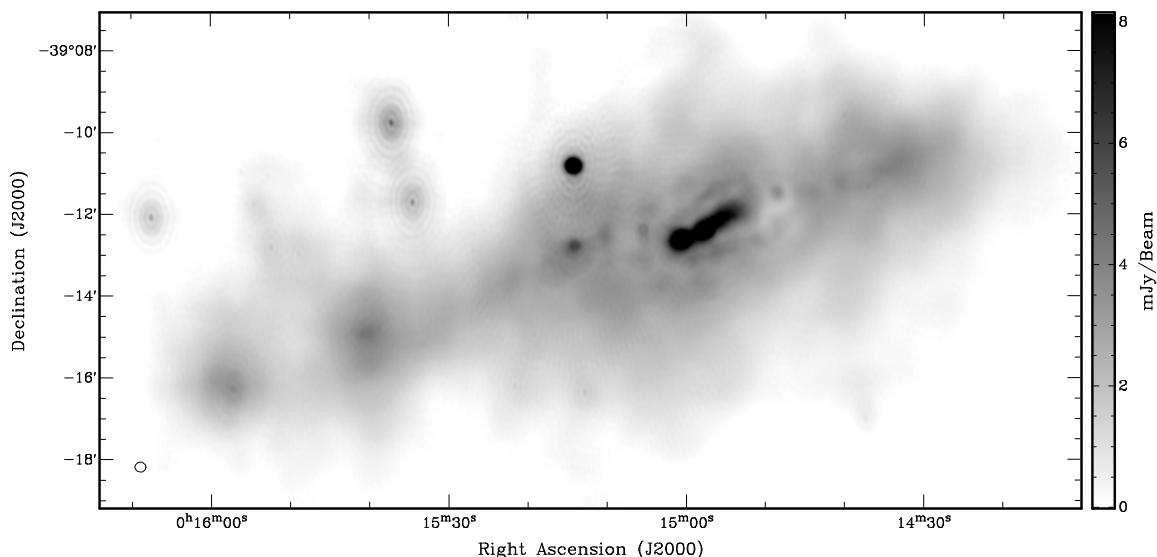
Slika 7.32: Prozor pomoću koga se na slici prikazuje i namešta pozicija sintetisanog snopa.

izmeniti naslov slike. Nakon toga se na slici zumira konkretni objekat koji posmatramo, tako što se zaokruži pomoću desnog dugmeta miša. Klikom na dugme **s** na tastaturi dobijamo osnovne podatke o objektu u prozoru terminala kao što su npr. standardna devijacija i gustina fluksa objekta. Pomoću dugmeta **export→post script** sa slike 7.30. se otvara prozor (slika 7.33.) pomoću koga možemo konačno pritiskom na dugme **save .eps** snimiti sliku objekta u .eps formatu koja je spremna za publikovanje (slika 7.34.).

Kotuš Srđan - Master rad



Slika 7.33: Prozor koji se koristi za snimanje slika u KVIS-u.



Slika 7.34: Slika u .eps formatu koja se dobija nakon obrade u KVIS-u. Galaksija NGC 55 na 1376 MHz. Kružić u levom donjem uglu predstavlja sintetisani snop.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

7.3.1. Identifikacija i klasifikacija radio izvora u galaksiji

Da bismo izvršili identifikaciju objekata, određivanje njihovih koordinata i gustine fluksa koristimo se programom KVIS. Prvo treba detaljnije pogledati slike na različitim frekvencijama koje smo dobili pomoću postupka opisanog u prethodnom poglavlju i odlučiti se za jednu od frekvencija. Za određenu frekvenciju se odlučujemo na osnovu broja objekata za koje možemo da kažemo da odstupaju od okoline (tamnije tačke unutar galaksije). Broj objekata se smanjuje na nižim frekvencijama zbog niže rezolucije, a na višim frekvencijama zbog opadanja gustine fluksa. Učitamo sliku na kojoj možemo da vidimo najveći broj objekata u KVIS, otvorimo prozor sa slike 7.32. i podešimo **profile mode→radial+fit**. Nakon toga možemo srednjim dugmetom miša da zaokružimo određeni objekat i u terminalu u kome smo otvorili KVIS nam se prikazuju podaci o objektu na dатој frekvenciji. Ove podatke iz terminala je dobro prekopirati u text fajl radi kasnijeg lakšeg snalaženja (slika 7.35.). Podaci koji su nam dalje potrebni su: rektascenzija i

```
1. Centre-x   Centre-y   FWHM |   Peak   Sum   Flux   Mag
Pixel: 834.09     1512.79   11.57 |Raw: -    75.27   4.15  25.31
      Ra         Dec       arcsec|Adj: -   103.6    5.71  24.96
World: 00:16:7.543 -39:12:4.94  17.37|Fit: 0.791   120.1   6.62  24.80
Npoints: 312 Baselevel for adjustment: -0.0908268 Units: JY/BEAM
```

```
2. Centre-x   Centre-y   FWHM |   Peak   Sum   Flux   Mag
Pixel: 896.31     1353.85   11.31 |Raw: -    432    23.83 23.41
      Ra         Dec       arcsec|Adj: -   55.4     3.06  25.64
World: 00:15:59.561 -39:16:3.91  16.95|Fit: 0.5097   73.85   4.07  25.33
Npoints: 202 Baselevel for adjustment: 1.86456 Units: JY/BEAM
```

```
3. Centre-x   Centre-y   FWHM |   Peak   Sum   Flux   Mag
Pixel: 914.97     1346.08   6.28 |Raw: -   178.2   9.83  24.37
      Ra         Dec       arcsec|Adj: -   22.6     1.25  26.61
World: 00:15:57.153 -39:16:15.72  9.41|Fit: 0.6243   27.9    1.54  26.39
Npoints: 75 Baselevel for adjustment: 2.07448 Units: JY/BEAM
```

```
4. Centre-x   Centre-y   FWHM |   Peak   Sum   Flux   Mag
Pixel: 1040.80    1400.06   5.38 |Raw: -   96.78   5.34  25.04
      Ra         Dec       arcsec|Adj: -   11.41    0.63  27.36
World: 00:15:40.889 -39:14:55.67  8.07|Fit: 0.4496   14.76   0.81  27.08
Npoints: 49 Baselevel for adjustment: 1.74217 Units: JY/BEAM
```

•
•
•

Slika 7.35: Prikaz dela text fajla koji sadrži podatke o objektima koje dobijamou terminalu prilikom zaokruživanja objekata u KVIS-u

deklinacija centra objekta, ugaona veličina objekta i gustina fluksa objekta. Prva tri podatka su nam potrebna za .ann fajl koji se kasnije može učitati preko slike na svim frekvencijama u KVIS-u. Na slici 7.36. je dat prikaz izgleda .ann fajla. Da bi napravili ovaj fajl rektascenziju, deklinaciju i ugaonu veličinu objekta je potrebno konvertovati u stepene. Kada je .ann fajl napravljen učitavamo ga (**overlay→load annotations (file)**) preko slike pomoću koje je napravljen i dobijamo sliku 7.37. sa zaokruženim objektima.

Kotuš Srđan - Master rad

```

## -----
## NGC55 SNRs
## snr.ann -- Wed Nov 1 10:00:00 2011
##
## Modified by mdf at UWS
##
## -----
## COORD W      # world coordinates
PA SKY        # this sets to astronomer setting
#COLOR black # or whatever color you want
COLOR green # or whatever color you want

#SNRs candidates in NGC55
#
circle 4.0314    -39.2014    0.004825 # RA=00:16:7.543 DEC -39:12:4.94
circle 3.9982    -39.2678    0.004708 # RA=00:15:59.561 DEC -39:16:3.91
circle 3.9881    -39.2710    0.002614 # RA=00:15:57.153 DEC -39:16:15.72
circle 3.9204    -39.2488    0.002242 # RA=00:15:40.889 DEC -39:14:55.67
circle 3.9117    -39.2475    0.003044 # RA=00:15:38.804 DEC -39:14:51.04
circle 3.9052    -39.1626    0.006333 # RA=00:15:37.250 DEC -39:09:45.21
circle 3.8940    -39.1953    0.006247 # RA=00:15:34.555 DEC -39:11:43.01
circle 3.8892    -39.2525    0.005856 # RA=00:15:33.400 DEC -39:15:9.10
circle 3.8402    -39.2706    0.006205 # RA=00:15:21.650 DEC -39:16:14.10
circle 3.8185    -39.2249    0.002622 # RA=00:15:16.444 DEC -39:13:29.56
circle 3.8089    -39.2131    0.002703 # RA=00:15:14.128 DEC -39:12:47.32
circle 3.8094    -39.1803    0.003947 # RA=00:15:14.267 DEC -39:10:49.20
circle 3.7533    -39.2105    0.003914 # RA=00:15:0.796 DEC -39:12:37.87
circle 3.7399    -39.2070    0.003597 # RA=00:14:57.583 DEC -39:12:25.25
circle 3.7294    -39.2006    0.002561 # RA=00:14:55.053 DEC -39:12:2.08
circle 3.7465    -39.2147    0.002330 # RA=00:14:59.157 DEC -39:12:53.01
circle 3.6922    -39.1842    0.003758 # RA=00:14:46.122 DEC -39:11:3.28
circle 3.6551    -39.1868    0.004842 # RA=00:14:37.231 DEC -39:11:12.41
circle 3.6443    -39.1817    0.004322 # RA=00:14:34.625 DEC -39:10:54.27
circle 3.8110    -39.2253    0.002030 # RA=00:15:14.642 DEC -39:13:30.93
circle 3.8191    -39.2165    0.002336 # RA=00:15:16.580 DEC -39:12:59.48
circle 3.8029    -39.2170    0.002492 # RA=00:15:12.703 DEC -39:13:1.25
circle 3.7141    -39.1887    0.003389 # RA=00:14:51.379 DEC -39:11:19.25
circle 3.6154    -39.1712    0.004738 # RA=00:14:27.695 DEC -39:10:16.45
#

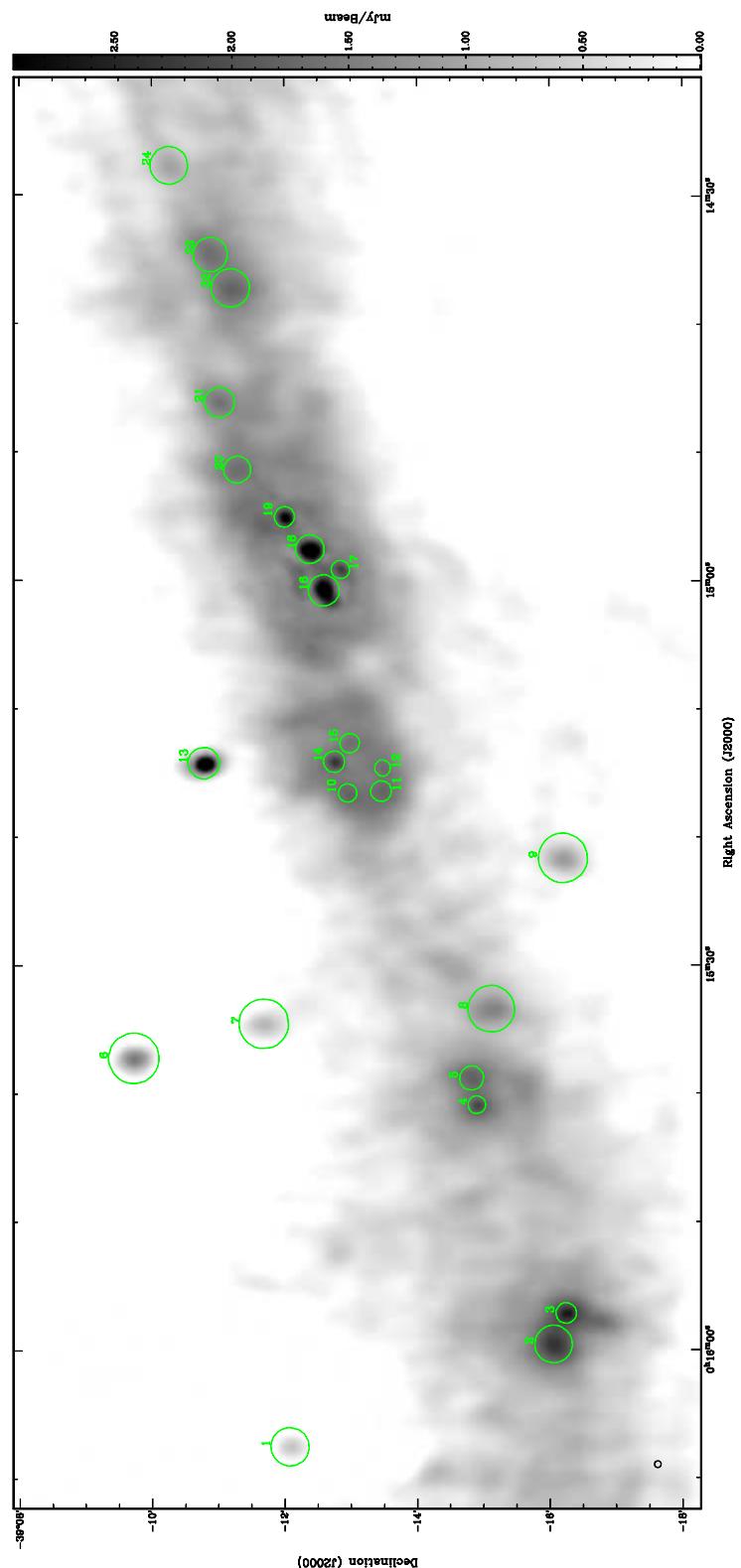
```

Slika 7.36: Prikaz .ann fajla koji se koristi za zaokruživanje objekata u KVIS-u

Učitavanjem .ann fajla preko slika na ostalim frekvencijama možemo utvrditi na kojim još frekvencijama postoje objekti (slika 7.38.). Pomoću postupka zaokruživanja objekata možemo odrediti podatke o objektu i na drugim frekvencijama, pri čemu nam je najznačajnija gustina fluksa.

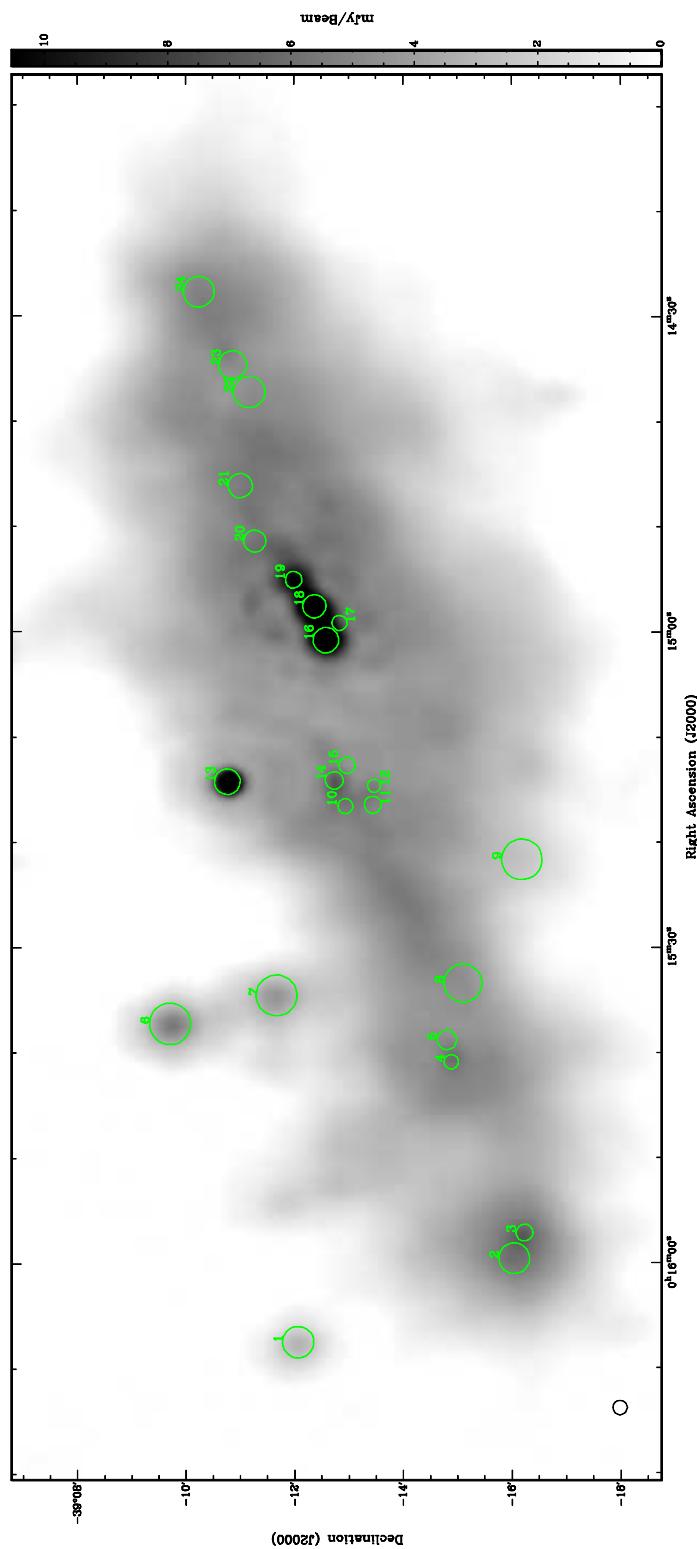
Na kraju objekte možemo klasifikovati na osnovu zavisnosti njihove gustine fluksa od frekvencije, odnosno spektralnog indeksa koji dobijamo korišćenjem programa SPECINDEX. Ukoliko dobijemo da je spektralni indeks u granicama od -0.5 do -1 može se reći da su to ostatci supernovih. Ukoliko je spektralni indeks > -0.5 u pitanju je H II region, a ako je < -1 trebalo bi da bude neki pozadinski objekat.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55



Slika 7.37: Slika galaksije NGC 55 na 4800 MHz sa učitanim .ann fajlom preko nje. Objekti su numerisani po RA(2000).

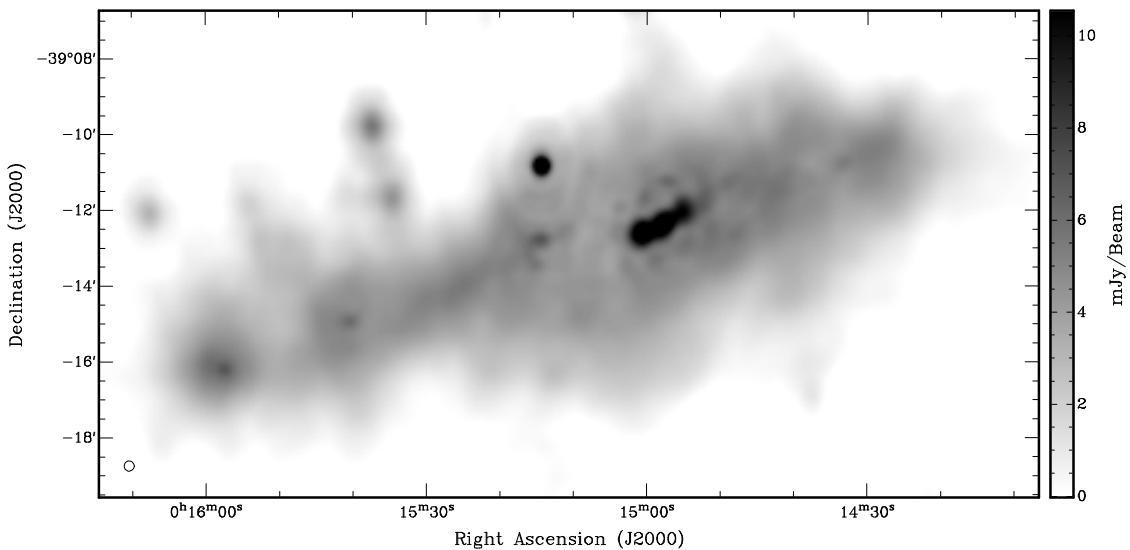
Kotuš Srđan - Master rad



Slika 7.38: Slika galaksije NGC 55 na 1376 MHz sa učitanim .ann fajlom dobijenim korišćenjem slike galaksije na 4800 MHz preko nje. Objekti su numerisani po RA(2000).

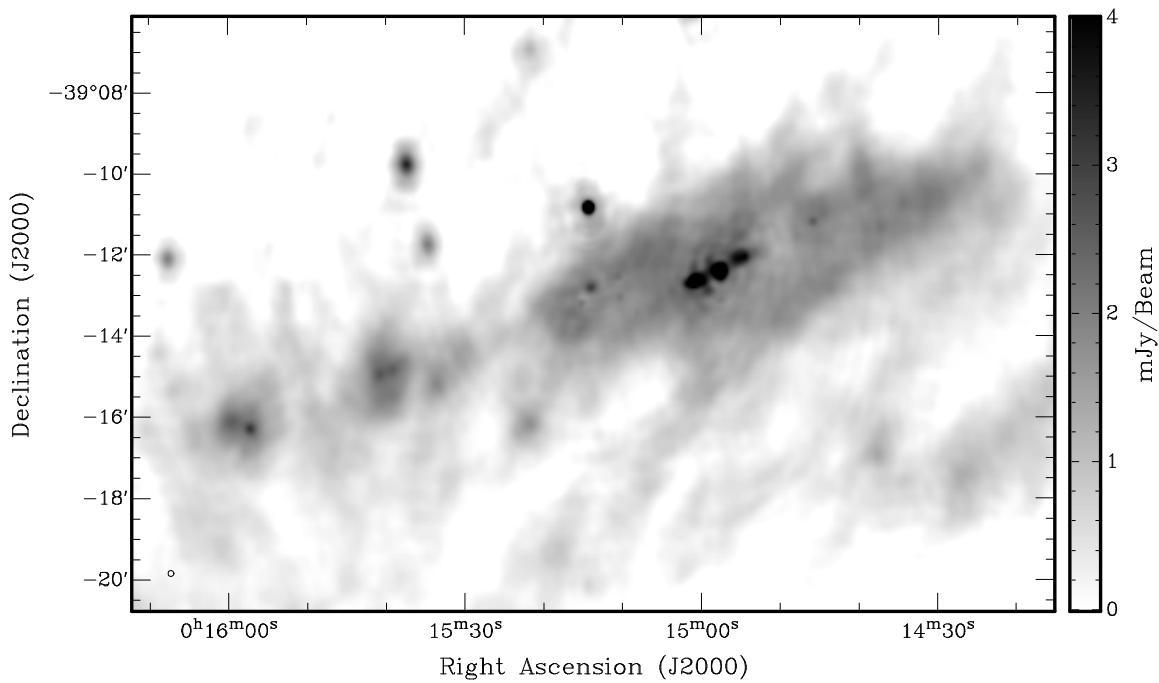
8. REZULTATI I DISKUSIJA

Pomoću postupka opisanog u odeljku 7. kreirane su slike galaksije NGC 55 na 1376 MHz (20 cm), 2378 MHz (13 cm), 4800 MHz (6 cm) i 8640 MHz (3 cm). One su prikazane na slikama 8.1., 8.2., 8.3. i 8.4., respektivno. Poređenjem ovih slika vidimo da se sa povećanjem frekvencije povećava i rezolucija, ali dolazi do smanjenja fluksa (opadanje fluksa se javlja zbog toga što zračenje u galaksijama na ovim frekvencijama nastaje uglavnom putem sinhrotronske ili putem bremštralung emisije).

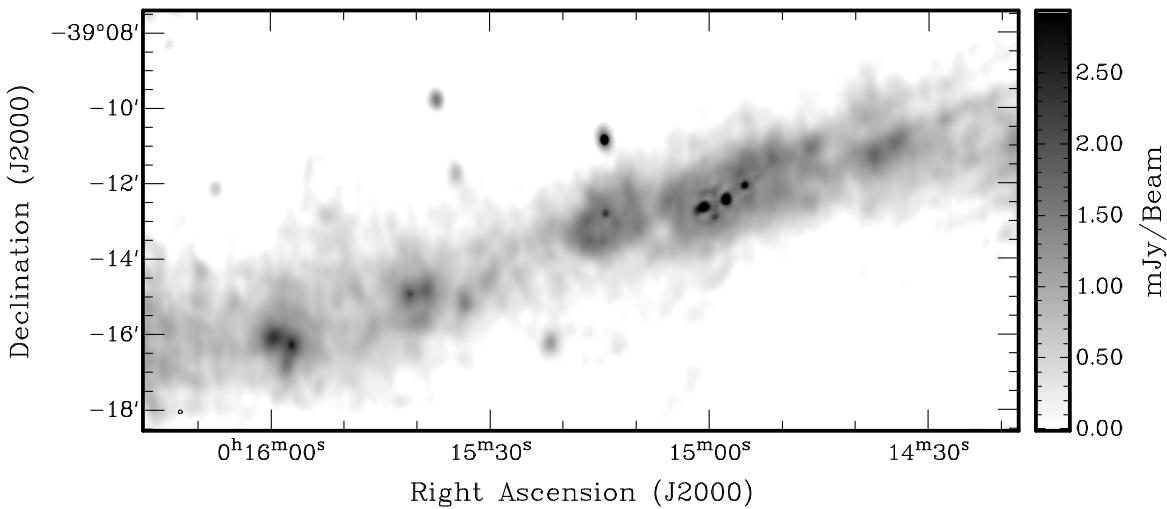


Slika 8.1: Galaksija NGC 55 na 1376 MHz (20 cm). Kružić u donjem levom ugлу predstavlja sintetisani snop veličine $16'' \times 16''$, a standardna devijacija iznosi 0,507 mJy/beam.

Kotuš Srđan - Master rad

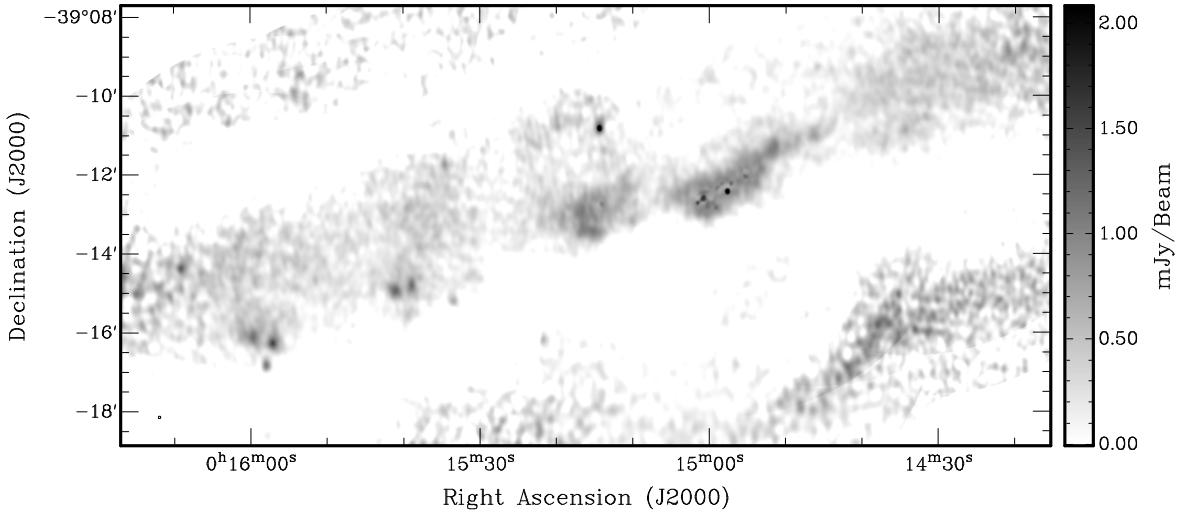


Slika 8.2: Galaksija NGC 55 na 2378 MHz (13 cm). Kružić u donjem levom ugлу predstavlja sintetisani snop veličine $9'' \times 9''$, a standardna devijacija iznosi 0,241 mJy/beam.



Slika 8.3: Galaksija NGC 55 na 4800 MHz (6 cm). Kružić u donjem levom ugлу predstavlja sintetisani snop veličine $6'' \times 6''$, a standardna devijacija iznosi 0,197 mJy/beam.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55



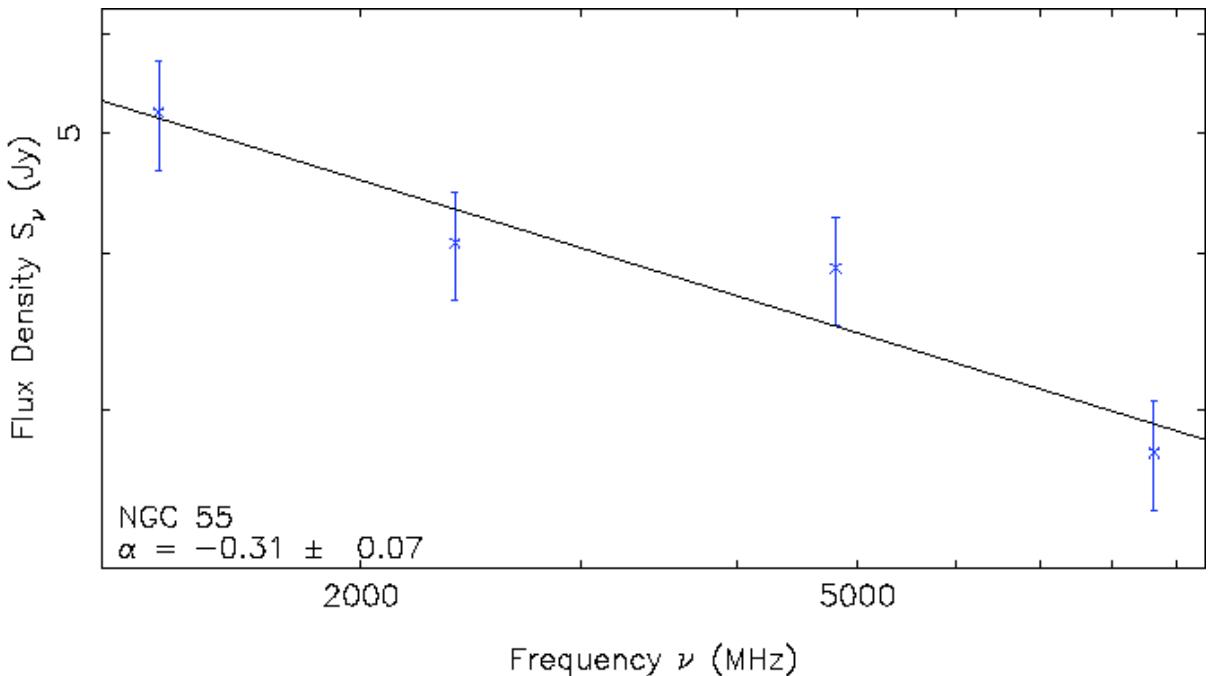
Slika 8.4: Galaksija NGC 55 na 8640 MHz (3 cm). Kružić u donjem levom ugлу predstavlja sintetisani snop veličine $3'' \times 3''$, a standardna devijacija iznosi 0,124 mJy/beam.

Nakon toga su odredeni standardna devijacija σ i ostale karakteristike slika koje su potrebne da bi se odredila gustina fluksa koja potiče iz galaksije na datim frekvencijama. U tabeli 8.1. su prikazani ovi rezultati i izračunata je gustina fluksa unutar oblasti sa 3σ .

ν [MHz]	σ_1 [mJy/beam]	σ [mJy/beam]	3σ [mJy/beam]	BS [arcsec 2]	PS [arcsec 2]	<i>Sum</i> [Jy/beam]	S_ν [Jy/beam]
1376	0.845	0.507	1.521	256	16	94.1	5.19086496
2378	0.401	0.241	0.7218	81	6.25	59.9	4.079358853
4800	0.329	0.197	0.5922	36	2.25	70.6	3.894527802
8640	0.207	0.124	0.3726	9	0.64	44.2	2.77414926

Tabela 8.1: Podaci koji se koriste za dobijanje gustine fluksa koja dolazi iz cele galaksije NGC 55 na razlicitim frekvencijama i izracunata gustina fluksa za svaku od frekvencija.

Nacrtan je grafik zavisnosti gustine fluksa od frekvencije (slika 8.5.) i određen je spektralni indeks za galaksiju NGC 55. Na osnovu ovih rezultata se može zaključiti da je u galaksiji NGC 55 dominantno termalno zračenje zbog velike komponente difuzne emisije koju možemo videti na slikama 8.1.-8.4. i zbog relativno ravnog spektralnog indeksa.



Slika 8.5: Zavisnost gustine fluksa od frekvencije za galaksiju NGC 55 i spektralni indeks.

Za identifikaciju objekata smo odabrali sliku na 4800 MHz, jer ima zadovoljavajuću rezoluciju pa su objekti dovoljno razdvojeni, a gustina fluksa iz samih objekata je dovoljna da ih možemo izdvojiti iz šuma. Na ovoj slici je identifikovano 24 objekta u oblasti unutar 3σ . U tabeli 8.2. su prikazane rekstascenzija i deklinacija ovih objekata na 4800 MHz i gustine fluksa za sve četiri frekvencije. Ukoliko objekat nije detektovan na nekoj od ostalih frekvencija polja za gustinu fluksa su zatamnjena, a ukoliko se objekat nije mogao razdvojiti od susednog u poljima je oznaka XXX. Kod objekata koji su detektovani na dve ili više frekvencija sprovedena je analiza zavisnosti gustine fluksa od frekvencija i određeni su spektralni indeksi. Na osnovu spektralnih indeksa može se utvrditi koji objekti su ostaci supernovih. U tabeli 8.2. u poslednjoj koloni je data klasifikacija objekata na osnovu njihovog spektralnog indeksa. Šest objekata nisu klasifikovani jer su detektovani samo na frekvenciji od 4800 MHz, a četiri zato što se nalaze u središnjoj oblasti galaksije. Od ostalih 14 objekata detektovano je pet ostataka supernovih (SNR), četiri H II regiona i jedan pozadinski objekat (BKG). Za tri objekta se ne može sa sigurnošću reći da li su u pitanju H II regioni ili SNR, a jedan je ili SNR ili BKG.

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC55

BR	RA [hh:mm:ss.ss]	DEC [$^{\circ} '$ "]	S_{1376} [mJy]	S_{2378} [mJy]	S_{4800} [mJy]	S_{8640} [mJy]	α	$\Delta\alpha$	Tip objekta
1	00:16:7.543	-39:12:4.94	21.79	13.24	6.62		-0.96	0.02	SNR
2	00:15:59.561	-39:16:3.91		5.82	3.65	2.35	-0.7	0.02	SNR
3	00:15:57.153	-39:16:15.72	XXX	2.5	1.54	1.16	-0.6	0.06	SNR
4	00:15:40.889	-39:14:55.67	XXX	1.15	0.81	0.66	-0.43	0.04	H II
5	00:15:38.804	-39:14:51.04		1.35	1.03	0.72	-0.48	0.06	SNR/H II
6	00:15:37.250	-39:09:45.21	31.05	18.8	12.26	4.39	-1.01	0.16	BKG
7	00:15:34.555	-39:11:43.01	12.27	7.81	5.23	4.36	-0.56	0.07	SNR/H II
8	00:15:33.400	-39:15:9.10		5.68	5.62	4.66	-0.15	0.09	H II
9	00:15:21.650	-39:16:14.10		9.4	6.01	3.9	-0.68	0.03	SNR
10	00:15:16.580	-39:12:59.48			0.43				
11	00:15:16.444	-39:13:29.56			0.31				
12	00:15:14.642	-39:13:30.93			0.24				
13	00:15:14.267	-39:10:49.20	31.28	23.76	19.93	15.53	-0.36	0.03	H II
14	00:15:14.128	-39:12:47.32	4.18	2.37	1.75	0.92	-0.72	0.09	SNR
15	00:15:12.703	-39:13:1.25			0.38				
16	00:15:0.796	-39:12:37.87	XXX	12.67	8.97	4.44	-0.8	0.2	
17	00:14:59.157	-39:12:53.01		XXX	1.41	0.85	-0.86	0.34	
18	00:14:57.583	-39:12:25.25	16.1	14.66	10.76	7.2	-0.44	0.07	
19	00:14:55.053	-39:12:2.08	XXX	5.28	3.47	1.18	-1.14	0.35	
20	00:14:51.379	-39:11:19.25			1.74	0.97	-0.99	0.34	BKG/SNR
21	00:14:46.122	-39:11:3.28		1.15	0.98	0.68	-0.4	0.11	H II
22	00:14:37.231	-39:11:12.41			2.08				
23	00:14:34.625	-39:10:54.27			1.46	1.07	-0.53	0.34	SNR/H II
24	00:14:27.695	-39:10:16.45			2.09				

Tabela 8.2: Identifikovani objekti sa gustinom fluksa na frekvencijama na kojima su detektovani i spektralnim indeksom za dati objekat. U poslednjoj koloni je data klasifikacija objekata na osnovu spektralnog indeksa.

9. ZAKLJUČAK

U radu su prezentovane i diskutovane nove radio-kontinuum slike visoke rezolucije i osetljivosti galaksije NGC 55 na 20 cm, 13 cm, 6 cm i 3 cm. Ove slike su nastale spajanjem osetljivih radio mozaik mapa sa ATCA radio teleskopa. Na ovim slikama je detektovana proširena emisija iz oblasti koja se ne poklapa sa optičkim slikama. Utvrđene su gustine fluksa na datim talasnim dužinama i nacrtan je grafik zavisnosti gustine fluksa od frekvencije, sa koga je određen spektralni indeks galaksije koji iznosi $\alpha = -0.31 \pm 0.07$. Na osnovu ovoga je zaključeno da je u galaksiji dominantno zakočno (bremštralung) termalno zračenje, jer je spektralni indeks relativno mali. Ovo termalno zračenje najverovatnije potiče iz H II regiona.

Unutar galaksije je detektovano 24 radio izvora na 4800 MHz. Neki od ovih objekata su detektovani i odredene su im gustine fluksa i na ostalim frekvencijama. Na osnovu zavisnosti gustine fluksa od frekvencije određen im je spektralni indeks i oni su grubo klasifikovani u tri grupe: ostatke supernovih (SNR), H II regije i pozadinske objekte (BKG). Kako je greška u spektralnom indeksu kod nekih objekata relativno velika za neke od njih se ne može sa sigurnošću reći da li pripadaju nekoj od ovih grupa.

Da bi se dobili bolji rezultati predlažem da se na ovaj način obrade sva posmatranja sa ATCA i VLA teleskopa i da se slike na određenim frekvencijama objedine u jedinstvenu sliku pomoću IMMERGE procedure u MIRIAD-u [19]. Analizom tako formiranih slika bi bili pronađeni i drugi objekti unutar galaksije i klasifikacija bi se mnogo poboljšala u odnosu na ovaj rad.

10. LITERATURA

1. Pietrzyński, G., Gieren, W., Soszyński, I., Udalski, A., Bresolin, F., Kudritzki, R.-P., Mennickent, R., Walker, A., Garcia, A., Szewczyk, O., Szymański, M., Kubiak, M., Wyrzykowski, L.: The Araucaria Project. The Distance to the Sculptor Group Galaxy NGC 55 from a Newly Discovered Abundant Cepheid Population. *Astron. J.* 132: 2556-2565, 2006.
2. Hummel, E., Dettmar, R.-J., Wielebinski, R.: Neutral hydrogen and radio continuum observations of NGC 55 *Astron. Astrophys.* 166, 97-106, 1986.
3. Puche, D., Carignan, C., Wainscoat, R.J.,: H I studies of the Sculptor group galaxies. III - NGC 55. *Astron. J.* 101: 447-455, 1991.
4. Horiuchi, S., Beacom, J., F., Kochanek, C., S., Prieto, J., L., Stanek, K., Z., Thompson, T., A., The Cosmic Core-collapse Supernova Rate does not match the Massive-Star Formation Rate, *Astrophysical Journal*, 738:154-169, 2011.
5. Urošević, D., Milogradov-Turin, J., Teorijske Osnove Radio-astronomije, Matematički fakultet Beograd, 2007.
6. Prodanović, T., Uvod u spektroskopiju za astronome, PMF Novi Sad, 2010.
7. Fanselow, J. L., Hartman, R. C., Hildebrand, R. H., Meyer, Peter, Charge Composition and Energy Spectrum of Primary Cosmic-Ray Electrons, *Astrophysical Journal*, vol. 158, p.771, 11/1969.
8. Flynn, C., Lectures in Astrophysics II: Radiation processes in astrophysics, <http://www.astro.utu.fi/~cflynn/astroII/index.html> University of Turku, Finland, 2005.
9. <http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/s/synchrotron+emission>
10. <http://unischoolabs.eun.org/web/galaxy-classification-and-formation/page-4>
11. Storey, P., J., Hummer, D., G., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 272, 41, 1995.
12. Wilson, T. L., Rohlfs, K., Hüttemeister, S., Tools of Radio Astronomy (fifth edition), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.
13. Rieger, F., M., Bosch-Ramon, V., Duffy, P., Fermi acceleration in astrophysical jets, *Astrophys. SpaceSci.* 309:119-125, 2007.
14. Čajko, K., Multifrekvenciona posmatranja jednog od najvećih ostataka supernovih u Lokalnoj Grupi Galaksija - LMC SNR 0450-709, Master rad, PMF, Novi Sad, 2009.
15. <http://apod.nasa.gov/apod/ap081010.html>
16. Labiano, A., Barthel, P., D., O'Dea, C., P., de Vries, W., H., Pérez, I., Baum, S., A., GPS radio sources: new optical observations and an updated master list, *Astron. Astrophys.* 463, 97-104, 2007.
17. Sault, R., Killeen, N.: Miriad Users Guide. ATNF, Sydney, 2006.
18. Gooch, R.: Karma Users Guide. ATNF, Sydney, 2006.

Kotuš Srđan - Master rad

19. Galvin, T., J., Filipović, M., D., Crawford, E., J., Wong, G., Payne, J., L., De Horta, A., White, G., L., Tothill, N., Drašković, D., Pannuti, T., G., Grimes, C., K., Cahall, B., J., Millar, W., C., Laine, S., Radio-continuum study of Nearby sculptor group galaxies. Part 1: NGC 300 at $\lambda = 20$ cm. *Astrophysics and Space Science*, 340, 1, 133-142, 2012.
20. <http://www.narrabri.atnf.csiro.au/>
21. <http://www.vla.nrao.edu/>
22. Steer, D.G., Dewdney, P.E., Ito, M.r.: *Astron. Astrophys.* 137, 159, 1984.
23. <http://spacescience.uws.edu.au/~evan/specindx/>

Kratka Biografija



Kotuš Srđan je rođen 22.01.1984. godine u Novom Sadu. Osnovnu školu „Žarko Zrenjanin“ i matematički smer gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj“ je završio u Novom Sadu. Fiziku je upisao (smer Astronomija sa astrofizikom) na Prirodno matematičkom fakultetu u Novom Sadu 2003. godine.

Diplomirao je 02.10.2007. godine na Departmanu za fiziku sa ocenom diplomskog rada 10 i prosečnom ocenom studiranja 9,06.

Školske 2007/2008 godine radi u Osnovnoj školi „Jožef Atila“ u Novom Sadu. U 2008. godini zasniva porodicu i dobija sina. Od septembra 2009. godine je zaposlen u gimnaziji „Stevan Puvić“ u Rumi.

Školske 2010/2011 godine upisuje master studije nuklearne fizike na Prirodno matematičkom fakultetu u Novom Sadu.

Novi Sad, 22.08.2012.

Kotuš Srđan

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska dokumentacija

TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR

Master rad

Autor:

AU

Srđan Kotuš

Mentor:

MN

Prof. dr Miroslav Filipović, prof. dr Tijana Prodanović

NR

Potraga za ostacima supernovih u galaksiji NGC 55

Jezik publikacije:

JP

srpski (latinica)

Jezik izvoda:

JI

srpski/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP

Republika Srbija

UGP

Vojvodina

Godina:

GO

2012

Izdavač:

IZ

Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA

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

Fizički opis rada:

FO

Broj poglavља -10, broj strana -59, broj referenci -23, broj tabela -3, broj slika-57

Naučna oblast:

NO

Astrofizika

Naučna disciplina:

ND

Astrofizika, Radio astronomija

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

Galaksije - NGC 55 - Ostatci supernovih i H II regioni - Radio kontinuum

UDK

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Čuva se:

ČU

Čuva se

Važna napomena:

VN

Nema

Izvod:

IZ

U ovoj studiji formirane su radio-kontinuum ($\lambda=20$ cm, $\lambda=13$ cm, $\lambda=6$ cm i $\lambda=3$ cm) mozaik slike galaksije NGC 55 korišćenjem arhiviranih posmatračkih podataka sa Australia Telescope Compact Array (ATCA). Ove nove slike su visoke osetljivosti ($\sigma<0.6$ mJy). Na slikama je primećena proširena radio-kontinuum emisija, koja ne odgovara njenom optičkom izgledu. Korišćenjem ovih novo kreiranih slika detektovan je veliki broj diskretnih izvora i oni su klasifikovani na osnovu njihovog spektralnog indeksa. Identifikovano je 24 objekta od kojih su 5 novi predloženi ostaci supernovih.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

09.07.2012.

Datum odbrane:

DO

28.08.2012.

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Dr Dušan Mrđa, vanredni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

član:

Dr Miroslav Filipović, vanredni profesor na Univerzitetu Western Sydney
Dr Tijana Prodanović, vanredni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

član:

Dr Miodrag Krmar, vanredni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

Type of record:

TR

Textual printed material

Content code:

CC

Master thesis

Author:

AU

Srđan Kotuš

Mentor/comentor:

MN

Prof. dr Miroslav Filipović, prof. dr Tijana Prodanović

Title:

TI

Search for supernova remnants in NGC 55 galaxy

Language of text:

LT

Serbian (Latin)

Language of abstract:

LA

English

Country of publication:

CP

Serbia and Montenegro

Locality of publication:

LP

Vojvodina

Publication year:

PY

2012

Publisher:

PU

Author's reprint

Publication place:

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Physical description:

PD

Chapters-10, pages-59, references-23, tables-3, figures and graphs-57

Scientific field:

SF

Astrophysics

Scientific discipline:

SD

Astrophysics, Radio-astronomy

Subject/ Key words:

SKW

Galaxies - NGC 55 - Supernova remnants and H II regions - Radio

continuum

UC

continuum

Holding data:

HD

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

Note:

N

None

Abstract:

AB

In this work a series of new radio-continuum ($\lambda=20$ cm, $\lambda=13$ cm, $\lambda=6$ cm and $\lambda=3$ cm) mosaic images focused on the NGC 55 galactic system were produced using archived observational data from the Australia Telescope Compact Array (ATCA). These new images are very sensitive ($\sigma<0.6$ mJy). Images show extended radio-continuum emission, which does not match its optical appearance. Using these newly created images a number of discrete sources have been discovered and they have been classified upon their spectral index. 24 sources have been identified and it is suspected that five of them are supernova remnants.

Accepted by the Scientific Board:

09.07.2012.

ASB

Defended on:

28.08.2012.

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Dr Dušan Mrđa, associate 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 Tijana Prodanović, associate professor of Faculty of Science and
Mathematics, University of Novi Sad

Member:

Dr Miodrag Krmar, associate professor of Faculty of Science and
Mathematics, University of Novi Sad