

Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Milica M. Vučetić

**OPTIČKA DETEKCIJA OSTATAKA
SUPERNOVIH I UTICAJ NJIHOVE
EMISIJE U LINIJI $H\alpha$ NA ODREĐIVANJE
STOPE FORMIRANJA ZVEZDA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2017

Faculty of Mathematics, University of Belgrade

Milica M. Vučetić

**OPTICAL SUPERNOVA REMNANTS AND
THEIR INFLUENCE ON STAR
FORMATION RATES DERIVED FROM $H\alpha$
EMISSION**

Doctoral dissertation

Belgrade, 2017

Mentor:

dr Bojan Arbutina

docent, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

dr Dejan Urošević

redovni profesor, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Milan M. Ćirković

naučni savetnik, Astronomska opservatorija Beograd

Zahvalnice

Želela bih da se zahvalim svom mentoru, dr Bojanu Arbutini, na strpljenju, izdvojenom vremenu, kao i uvek dobro promišljenim primedbama i smernicama za rad. Profesoru Dejanu Uroševiću sam zahvalna na ogromnoj podršci, entuzijazmu i optimizmu u svakom poslu. Izuzetno sam srećna što sam zahvaljujući njima ostvarila svoju želju da moja istraživanja uključe i posmatranja nebeskih objekata. Takođe, zahvaljujem se dr Milanu Ćirkoviću, koji je svojim detaljnim komentarima i sugestijama unapredio ovu disertaciju. Posebno sam zahvalna kolegama Aleksandri Ćiprijanović, Marku Pavloviću i Vladi Zekoviću, koji su mi nebrojeno puta pomogli oko svakodnevnih poslova i problema, kao i provodeći vreme na teleskopu, kada ja to nisam mogla.

Ova doktorska disertacija je realizovana na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja „Emisione magline: struktura i evolucija”, pod rukovodstvom prof. dr Dejana Uroševića. Posmatranja sa Nacionalne astronomske opservatorije Rožen u Bugarskoj su realizovana kroz projekat međuakademijske saradnje između Srpske akademije nauka i umetnosti i Bugarske akademije nauka, pod nazivom „Optička detekcija ostataka supernovih i HII regiona u bliskim galaksijama (M81 i IC342 grupe galaksija)”. Rukovodioci ovog projekta su prof. dr Dejan Urošević i dr Nikola Petrov, kome se ovom prilikom najdublje zahvaljujem na prijateljskoj pomoći i gostoprimstvu prilikom svakog našeg odlaska na Rožen.

Svakako, ova doktorska disertacija ne bi nastala bez nemerljive podrške, razumevanja i pomoći svih članova moje porodice.

Beograd, februar 2017.

Milica Vučetić

OPTIČKA DETEKCIJA OSTATAKA SUPERNOVIH I UTICAJ NJIHOVE EMISIJE U LINIJI $H\alpha$ NA ODREĐIVANJE STOPE FORMIRANJA ZVEZDA

Sažetak

U ovoj disertaciji je analiziran uticaj zračenja ostataka supernovih (OSN) u liniji $H\alpha$ na stopu formiranja zvezda (SFZ) određenu na osnovu emisije u ovoj liniji. Priказana je detekcija 16 optičkih OSN, od strane autora ove disertacije, u delu galaksije IC342, kao i dva potencijalna OSN u galaksiji NGC 185. Posmatranja su realizovana pomoću dvometarskog teleskopa na Nacionalnoj astronomskoj opservatoriji Rožen u Bugarskoj, korišćenjem uskopojasnih filtera: $H\alpha$, [S II] i kontinuum filtera na talasnoj dužini bliskoj talasnim dužinama ove dve linije. Takođe, u sklopu rada na ovoj disertaciji, pretražena je literatura kako bi se sastavila lista svih optički detektovanih OSN van naše Galaksije. Prilikom određivanja stope formiranja zvezda iz linije $H\alpha$, polazna pretpostavka je da zračenje potiče iz jonizovanog gasa koji okružuje mlade zvezde, tj iz tzv. H II regiona. Zbog toga optičko zračenje ostataka supernovih u liniji $H\alpha$ „kontaminira” fluks na osnovu koga treba da se odredi SFZ. Nalazimo da je srednja vrednost udela $H\alpha$ fluksa OSN u ukupnom fluksu galaksije, za uzorak od 18 galaksija sa optičkim OSN, $5 \pm 5\%$. Zbog postojanja posmatračkih selekcionih efekata, ovaj procenat predstavlja tek donju granicu kontaminacije ukupnog $H\alpha$ fluksa galaksije zračenjem OSN. Za M83, galaksiju sa najvećim brojem detektovanih optičkih OSN, ovaj procenat je 9%, i očekujemo da je ovaj broj blizu stvarnog procenta zagađenja u spiralnim galaksijama.

Na primeru dva specifična slučaja, patuljastih galaksija Holmberg IX i NGC 185, pokazujemo da $H\alpha$ fluks proizveden od strane ostataka supernovih, ali i drugih objekata koji ne ukazuju na rađanje zvezda, može biti daleko veći, čak do deset puta, od onog fluksa koji proizvode H II regioni.

Ključne reči: zvezde: formiranje – MZM: ostaci supernovih – galaksije: MZM – galaksije: formiranje zvezda – galaksije: pojedinačne (IC342, NGC 185, Holmberg IX).

Naučna oblast: Astronomija

Uža naučna oblast: Astrofizika

UDK broj: 524.354(043.3)

OPTICAL SUPERNOVA REMNANTS AND THEIR INFLUENCE ON STAR FORMATION RATES DERIVED FROM $H\alpha$ EMISSION

Abstract

In this dissertation we discuss influence of $H\alpha$ emission from supernova remnants (SNRs) on $H\alpha$ derived star formation rates (SFRs). We present the detection of 16 optical SNR candidates in a part of nearby spiral galaxy IC342, and two more potential SNRs in NGC 185 galaxy. The candidates were detected by applying $[S\ II]/H\alpha$ ratio criterion on observations made with the 2 m telescope at Rozhen National Astronomical Observatory in Bulgaria. Also, in this dissertation we present the most up-to-date list of nearby galaxies with optically detected SNRs. When deriving $H\alpha$ star formation rates, assumption is that the radiation is coming from the ionized gas surrounding hot and young stars – H II regions. In this case, emission from SNRs contaminates $H\alpha$ flux used to derive SFR. We found that the contribution of SNRs' flux to the total $H\alpha$ flux, for 18 galaxies in our sample of galaxies with optical SNRs, is $5 \pm 5\%$. Due to the observational selection effects, the SNR contamination of SFRs derived herein represents only a lower limit. M83 is the galaxy with the most detected optical SNRs and in this galaxy SNRs account for 9 per cent of the total $H\alpha$ emission. We expect that fraction similar to this would be close to the real contribution of SNR emission to the total $H\alpha$ emission in spiral galaxies.

Using two dwarf galaxies as an example, Holmberg IX and NGC 185, we show that the contamination of $H\alpha$ flux by SNRs, or other sources, can be much larger, up to ten times higher than total $H\alpha$ flux coming from H II regions of the observed galaxy.

Keywords: stars: formation – ISM: supernova remnants – galaxies: ISM – galaxies: star formation – galaxies: individual (IC342, NGC 185, Holmberg IX).

Scientific area: Astronomy

Scientific field: Astrophysics

UDC number: 524.354(043.3)

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Formiranje i stopa formiranja zvezda	3
2.1 Formiranje zvezda	3
2.1.1 Kolaps i fragmentacija	4
2.1.2 Kraj kolapsa - formiranje zvezda	7
2.1.3 Početna funkcija mase	7
2.2 Stopa formiranja zvezda	9
2.2.1 Prebrojavanje objekata i analiza dijagrama boja-magnituda . .	12
2.2.2 UV kontinuum	13
2.2.3 Emisione linije	14
2.2.4 IC zračenje	16
2.2.5 Zračenje u radio i X-području	18
2.2.6 Stopa formiranja zvezda iz kombinacije zračenja u različitim područjima	19
2.2.7 Koeficijenti za izračunavanje stope formiranja	20
3. Linija $H\alpha$ kao indikator stope formiranja zvezda	23
3.1 Stopa formiranja zvezda iz emisije u liniji $H\alpha$	23
3.1.1 Kontaminacija $H\alpha$ fluksa	26
3.2 Blisko vngalaktičko okruženje u liniji $H\alpha$	30
4. Ostaci supernovih	32
4.1 Ostaci supernovih i njihova evolucija	32
4.2 Radijativni udarni talas kod ostataka supernovih	36

4.2.1	Funkcija hlađenja	40
4.2.2	Modeli zračenja radijativnog udarnog talasa	44
4.2.3	Primena modela radijativnih udarnih talasa na detekciju optičkih ostataka supernovih	45
4.2.4	Optičko zračenje ostataka supernovih u radijativnoj fazi	45
5.	Optička detekcija ostataka supernovih	49
5.1	Uvodne napomene i hronološki pregled	49
5.2	Detekcija ostataka supernovih sa NAO Rožen	52
5.2.1	Galaksija IC342	53
5.2.2	Galaksija NGC 185	62
5.2.3	Galaksija Holmberg IX	66
6.	Uticaj emisije ostataka supernovih u liniji $H\alpha$ na stopu formiranja zvezda	69
6.1	Galaksije sa optički detektovanim ostacima supernovih	69
6.2	Opis uzorka	73
6.3	Obližnje galaksije sa optički detektovanim ostacima supernovih	74
6.3.1	M31	74
6.3.2	M33	76
6.3.3	NGC 300	77
6.3.4	NGC 4214	77
6.3.5	NGC 2403	78
6.3.6	M82	79
6.3.7	M81	80
6.3.8	NGC 3077	80
6.3.9	NGC 7793	81
6.3.10	NGC 4449	82
6.3.11	M83	83
6.3.12	NGC 4395	84
6.3.13	NGC 5204	85
6.3.14	NGC 5585	85

6.3.15 NGC 6946	85
6.3.16 M101	86
6.3.17 M74	87
6.3.18 NGC 2903	87
6.4 Diskusija	88
6.4.1 Kontaminacija $H\alpha$ fluksa galaksije ostacima supernovih i tip supernove	99
7. Zaključak	101
Bibliografija	105
Dodatak: Optički ostaci supernovih u obližnjim galaksijama	119
Biografija autora	159

1. Uvod

Razumevanje i modelovanje stope formiranja zvezda (SFZ) spada među najvažnije ciljeve teorije formiranja zvezda. Proučavanje SFZ je među glavnim temama u astrofizici još od sedamdesetih godina prošlog veka, a tokom poslednje dve decenije detaljno je proučavana kosmološka istorija formiranja zvezda kako bi se bolje razumeli formiranje i evolucija galaksija. Pregledima velikog dela neba moćnim teleskopima značajno je unapređeno naše znanje o SFZ na niskim i srednjim crvenim pomacima ($z < 1$), ali i na dosta većim udaljenostima (videti Hopkins & Beacom 2006; Karim et al. 2011; Sobral et al. 2013). Pokazuje se da je gustina SFZ imala svoj maksimum na oko $z \approx 1.9$ i da od tada pokazuje eksponencijalan pad, ali i da je 75% ukupne zvezdane mase proizvedeno nakon ovog maksimuma (Madau & Dickinson 2014).

Određivanje SFZ za različite tipove galaksija pruža nam uvid u evoluciju galaksija duž čitavog Hablovog niza. Merenja pokazuju da SFZ, kada se normira na masu galaksije i površinu, ima opseg od 6 redova veličine, od skoro nula u gasom siromašnim eliptičnim, diskolikim i patuljastim galaksijama, pa $\sim 100 M_{\odot} \text{ god}^{-1}$ u optički izdvojenim zvezdorodnim (eng. *starburst*) galaksijama, pa čak i više u najsjanijim infracrvenim zvezdorodnim galaksijama (Kennicutt 1998).

Prve kvantitativne procene SFZ su vršene na osnovu evolutivnih modela sinteze zvezdanih populacija za boje galaksija (Searle, Sargent & Bagnuolo 1973). Kasnije, kao precizniji dijagnostički alat korišćeni su ukupni fluks u emisionim linijama, fluks bliskog ultraljubičastog (UV) zračenja u kontinuumu, i fluks zračenja u infracrvenom (IC) kontinuumu (Rieke & Lebofsky 1978; Kennicutt 1983; Donas & Deharveng 1984). U današnje vreme koriste se mnogi različiti parametri i karakteristike galaksija kako bi se pratilo formiranje zvezda. Cilj je detektirati zračenje, bilo u emi-

sionoj liniji ili u neprekidnom spektru, koje emituju masivne zvezde kratkog veka, a da se pri tom što više izbegne doprinos zračenja starijih zvezda. Takođe, koriste se različite tehnike u zavisnosti od toga da li se SFZ procenjuje za celu galaksiju ili za neki region u galaksiji (npr. molekularni oblak). Kalibracija indikatora SFZ su vršena koristeći zračenje u X, UV, optičkom području, pa sve do radio-talasa. Pregled najskorijih postignuća u ovoj oblasti može se potražiti u skorašnjem članku Kenikata i Evansa (Kennicutt & Evans 2012), kao i u ranijem preglednom članku Kenikata (Kennicutt 1998).

U ovoj disertaciji, fokusiraćemo se na to kako da poboljšamo određivanje SFZ iz emisije linije $H\alpha$ ¹, i to time što ćemo iz ukupnog zračenja u liniji $H\alpha$ pokušati da izdvojimo zračenje ostataka supernovih, koje nije pokazatelj formiranja zvezda.

U narednim poglavljima osvrnućemo se na temu formiranja zvezda, kao i na načine na koji se meri stopa formiranja zvezda, a posebnu pažnju ćemo posvetiti tome kako se SFZ meri iz posmatranja u liniji $H\alpha$.

Druga celina kojoj ćemo se posvetiti u ovoj disertaciji jesu ostaci supernovih, a posebno njihovo zračenje i detekcija u optičkom delu spektra. Ostaci supernovih zrače na skoro celom opsegu talasnih dužina elektromagnetnog spektra. Karakteristično radio-zračenje ostataka supernovih je sinhrotronsko zračenje ljuske $S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$, i to sa najčešćim spektralnim indeksom od oko 0.5, koji je predviđen teorijom difuznog ubrzavanja čestica na jakim udarnim talasima (Bell 1978). X-zračenje u najvećem broju OSN potiče od termalnog zračenja vrelog, veoma jonizovanog gasa u unutrašnjosti, i to i u kontinuumu i u linijama. Više detalja o zračenju ostataka supernovih u svim domenima može se naći u pregledu na ovu temu datom u doktorskoj disertaciji Onića (Onić 2013).

U nekom od narednih odeljaka biće dato više detalja o posmatranjima pojedinačnih galaksija i detekciji OSN u njima u vidljivom delu spektra.

¹Emisiona linija u spektru atoma vodonika, prva u nizu Balmerove serije. Odgovara prelazu sa trećeg na drugi osnovni energetski nivo, talasne dužine 656.3 nm.

2. Formiranje i stopa formiranja zvezda

2.1 Formiranje zvezda

Formiranje zvezda je jedan od procesa u evoluciji kosmosa koji još nije dovoljno objašnjen. Jedan od razloga za to sigurno je i to što formiranje zvezda obuhvata jako puno fizičkih procesa. Međuzvezdani gas iz koga se stvaraju zvezde je nadzvučno turbulentna, slabo-jonizovana plazma, u kojoj važe zakoni neidealne magnetohidrodinamike. Na ovo još treba dodati gravitaciju, kao i to da na dinamiku gasa utiče i zračenje, kako u kontinuumu, tako i u linijama. Još jedan neizostavan aspekt formiranja zvezda su i hemijski procesi, koji pored ostalih uključuju i formiranje i disocijaciju molekula, kao i dinamiku zrnaca prašine i hemijske reakcije na njihovim površinama. Kao posledica svega navedenog, za sada ne postoji opšte prihvaćena sveobuhvatna teorija formiranja zvezda. U ovoj disertaciji ćemo, zbog izuzetne kompleksnosti teme formiranja zvezda, njoj prići samo fenomenološki. Ovde ćemo samo kratko izneti osnovne pretpostavke o toku formiranja zvezda, dok se više detalja može naći u brojnoj literaturi (npr. McKee & Ostriker 2007; Klessen, Krumholz & Heitsch 2011; Krumholz 2014).

Dosadašnja saznanja ukazuju na to da se formiranje zvezda u sadašnjoj epohi dešava isključivo u regionima, molekulskim oblacima, gde je vodonik u obliku H_2 molekula, a ugljenik u obliku CO. Prosečan džinovski molekulski oblak u Mlečnom putu ima masu $M \sim 10^4 - 10^6 M_\odot$, karakteristične dimenzije od $10 - 100$ pc, površinsku gustinu u ravni galaktičkog diska od oko $\Sigma \approx 100 M_\odot \text{ pc}^{-2}$ i temperaturu od $T \approx 10$ K (Dobbs et al. 2014). Molekulski oblaci imaju svoju kompleksnu strukturu, u

okviru koje se izdvajaju dva podsistema: zgušnjenja (eng. *clumps*), dimenzija oko 1 pc, iz kojih nastaju zvezdana jata; i jezgra (eng. *cores*), dimenzija oko 0.1 pc, iz kojih se formiraju pojedinačne, ili višestruke zvezde. Formiranje zvezda započinje gravitacionim kolapsom molekuskog oblaka, zatim njegovom fragmentacijom, i završava se konačnim kolapsom fragmenata.

2.1.1 Kolaps i fragmentacija

Teorema virijala nam daje uslov pod kojim je sistem (npr. molekulski oblak) unutar kojeg deluje gravitaciona sila u ravnoteži. Jednostavnim oblikom:

$$2U + \Omega = 0, \quad (2.1)$$

iskazuje se balans između gravitacionog privlačenja delova sistema, koji teže da izazovu kolaps tj. sažimanje, i termalnog kretanja čestica, koje mu se suprotstavlja. U prethodnom izrazu Ω predstavlja gravitacionu potencijalnu energiju sistema, a U unutrašnju, tj. kinetičku energiju čestica. Bez makroskopskog kretanja kinetička energija jednaka je

$$U = \frac{3}{2} \frac{MkT}{\mu m_{\text{H}}}, \quad (2.2)$$

a gravitaciona potencijalna energija sfernog i homogenog oblaka je

$$\Omega = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}. \quad (2.3)$$

U navedenim izrazima M je masa, T temperatura, a R poluprečnik oblaka; μ predstavlja srednju molekulsku masu, a m_{H} masu atoma vodonika. Iako oblak ne može biti u isto vreme homogen i izotermalan, zbog stratifikacije pod dejstvom gravitacije, kao prvu aproksimaciju iz prethodnih jednačina dobijamo maksimalnu, tj. kritičnu masu za koju je oblak stabilan (Lequeux 2005):

$$M_{\text{crit}} \simeq \left(\frac{1}{\mu m_{\text{H}}} \right)^2 \left(\frac{5}{2} \frac{kT}{G} \right)^{3/2} \left(\frac{4}{3} \pi n \right)^{-1/2} \simeq 4.4 T^{3/2} n^{-1/2} M_{\odot}, \quad (2.4)$$

gde je n gustina oblaka. Na sličan način je Džins 1902. godine razmatrao gravitacionu nestabilnost uniformne sredine (Jeans 1902). Pod pojmom Džinsova masa podrazumeva se maksimalna masa koja je stabilna pri dejstvu nekog poremećaja. Ukoliko je masa veća od Džinsove oblak gasa je nestabilan, tj. sažima se pri izotermalnim uslovima, sve dok je njegovo hlađenje dovoljno efikasno da održi konstantnu temperaturu. U izotermalnom slučaju, Džinsova masa se smanjuje povećanjem gustine, što dovodi do fragmentacije oblaka tokom sažimanja. Za politropsku jednačinu stanja gasa, gde je pritisak $p \propto \rho^\gamma$, Džinsova masa je proporcionalna gustini kao

$$M_J \propto \rho^{(3\gamma/2)-2}. \quad (2.5)$$

U ovom slučaju, za $\gamma < 4/3$ takođe imamo smanjenje Džinsove mase sa povećanjem gustine, tj. fragmentaciju. Ali za slučaj kada je politropski indeks $\gamma > 4/3$ može se desiti da masa koja je u početku bila nestabilna, sažimanjem, tj. povećavanjem gustine postane stabilna.

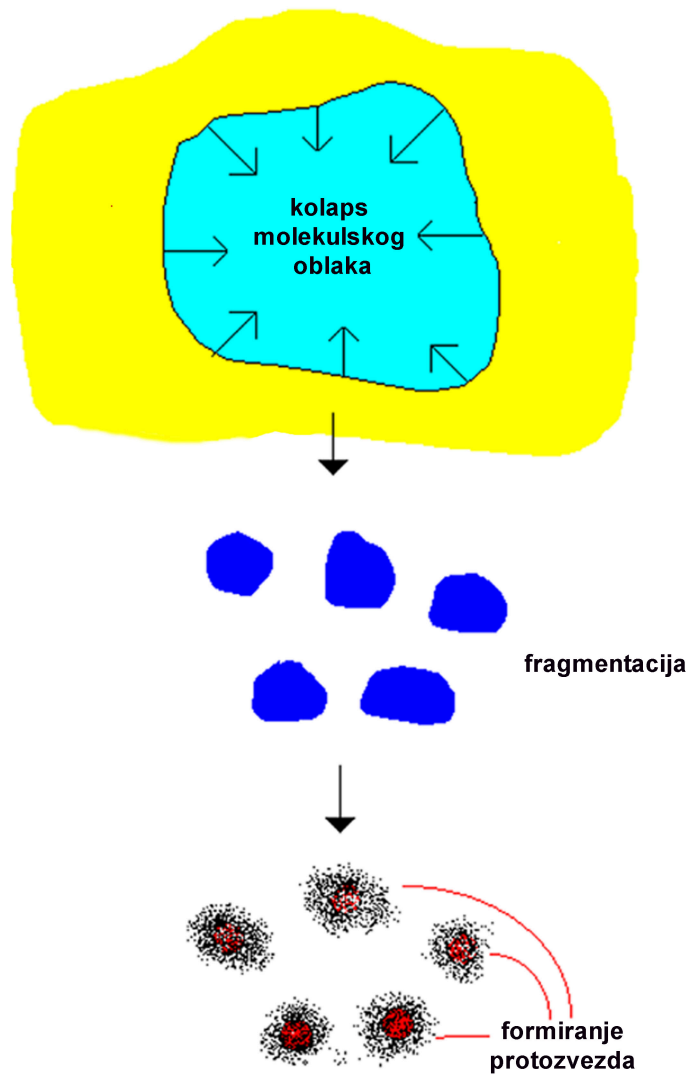
Opštiji oblik teoreme virijala, koji važi za slučaj kada imamo spoljašnji pritisak p_{ext} , je

$$2K + \Omega + 3V(\bar{p} + p_{ext}) = 0, \quad (2.6)$$

gde je K kinetička energija makroskopskog kretanja. U slučaju hipotetičke izotermalne, homogene sfere u nekom spoljašnjem pritisku, uz $K = 0$ imamo

$$\frac{3MkT}{\mu m_H} - \frac{3GM^2}{5R} - 4\pi R^3 p_{ext} = 0. \quad (2.7)$$

Dodatno uopštenje virijalne teoreme zahteva uvođenje magnetnog polja, kao i makroskopska i turbulentna kretanja. Turbulencija se u modernim teorijama formiranja zvezda smatra osnovnim razlogom nastanka nestabilnosti i zgušnjavanja molekuskog oblaka, ali i uzroka fragmentacije istog. Pretpostavlja se da molekulski oblaci turbulentno kretanje nasleđuju iz difuznog međuzvezdanog gasa, iz koga se, najčešće podstaknuti spiralnim talasom gustine, formiraju. Turbulencija unutar molekuskog oblaka pravi log-normalnu raspodelu gustine, praveći na taj način širok spektar



Slika 2.1: Šematski prikaz gravitacionog kolapsa, fragmentacije i formiranja protozvezda.

dimenzija i masa zgušnjena. U daljem sažimanju zgušnjena važnu ulogu ima i magnetno polje.

2.1.2 Kraj kolapsa - formiranje zvezda

Prethodno iznete fenomenološke postavke važe u slučaju da termalna energija, u koju se gravitaciona pretvara, može biti izračena. Naravno, u nekom trenutku ova pretpostavka prestaje da važi, jer povećanjem gustine sredina postaje i optički gusta za linije CO i drugih molekula koji učestvuju u hlađenju gasa. Tada kolaps postaje adijabatski, što prouzrokuje porast temperature oblaka. Porastom termalnog pritiska opada srednja masa čestica u gasu μ , zbog disocijacije H_2 , a kasnije i jonizacije vodonika. Kao posledicu svega pomenutog imamo i zaustavljanje dalje fragmentacije oblaka. Detaljnijim teorijskim razmatranjima dobija se i da je donja granica mase fragmenta negde oko mase braon patuljka. Sa druge strane, pored toga što adijabatski režim zaustavlja dalji kolaps jezgara molekuskog gasa, povećavanjem temperature i pritiska nastaju uslovi za otpočinjanje termonuklearnih reakcija, što označava početak života zvezde.

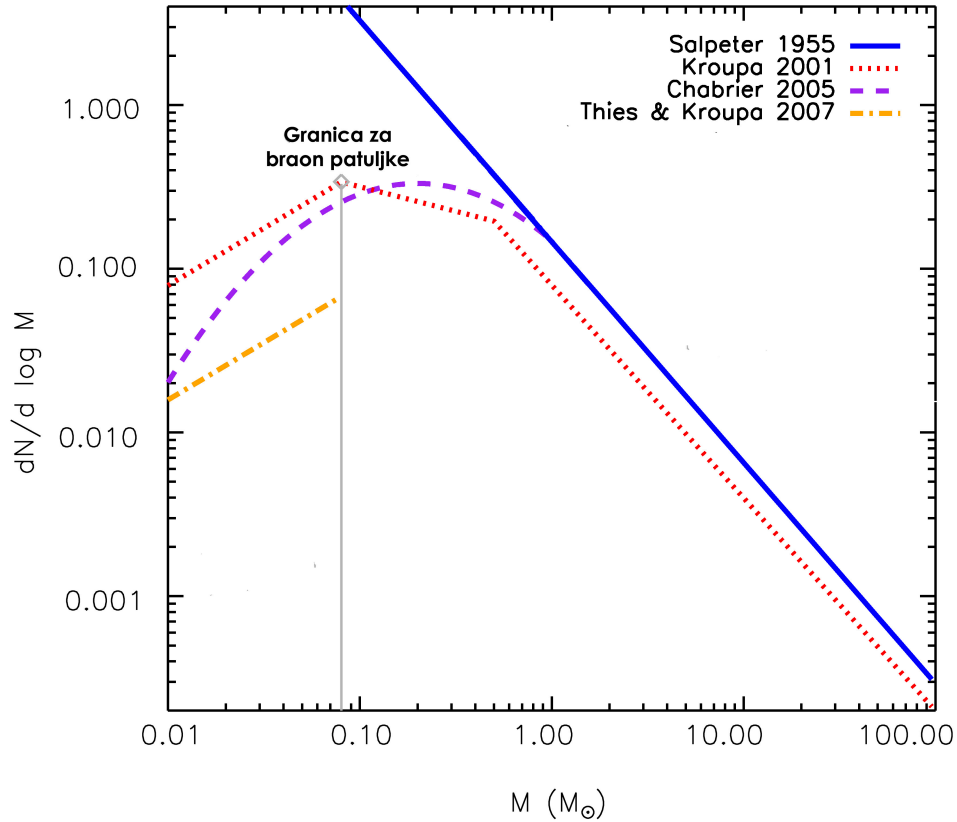
2.1.3 Početna funkcija mase

Zvezde se formiraju u grupama, tj. asocijacijama. Početna funkcija mase, skraćeno PFM (eng. *initial mass function* - *IMF*) je raspodela zvezda po masama prilikom njihovog nastanka, unutar jedne zvezdane populacije. Može se razmatrati za zvezdano jato ili asocijaciju, za neku grupu zvezda, kao i za deo ili celu galaksiju. Uobičajeno je da se izražava oblikom

$$\chi(M) = dN/dM \propto M^{-\alpha}. \quad (2.8)$$

Na ovaj način je Salpeter 1955. godine prvobitno formulisao PFM, sa koeficijentom $\alpha = 2.35$, na opsegu masa zvezda od $0.1 - 100 M_{\odot}$ (Salpeter 1955). I danas je ovaj oblik PFM u upotrebi za mase zvezda veće od $1 M_{\odot}$, ali je jasno da funkcija mora imati maksimum kako se ide ka manjim masama, i da promena nagiba PFM mora postojati. Promenu nagiba su prvobitno predložili Miler i Skalo, koji su PFM

aproksimirali log-normalom raspodelom na opsegu od 0.1 - 30 M_{\odot} , ali uz zaravnjenje raspodele na masama ispod 1 M_{\odot} (Miller & Scalo 1979).



Slika 2.2: Različiti oblici početne funkcije mase. (Preuzeto iz Offner et al. 2014.)

Neki od modernijih oblika PFM takođe pretpostavljaju log-normalnu raspodelu na manjim masama, i stepeni zakon iznad jedne mase Sunca (Chabrier 2003, 2005). Najviše korišćenu PFM u poslednje vreme dao je Kroupa, koja je oblika dvostrukog stepenog zakona, za dva opsega zvezdanih masa (Kroupa 2001):

$$\begin{aligned} \chi(M) = dN/dM &\propto M^{-1.3}, & \text{za } 0.1 < M(M_{\odot}) < 0.5, \\ &\propto M^{-2.3}, & \text{za } 0.5 < M(M_{\odot}) < 100. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Kao što se može videti na slici 2.2 log-normalne PFM i PFM izražene višestrukim

stepenim zakonima se relativno dobro slažu za mase iznad $\sim 0.2 M_{\odot}$. Međutim, oblik PFM za mase ispod te granice je i dalje pod velikim znakom pitanja, a posebno u režimu braon patuljaka (npr. Thies & Kroupa 2007, 2008; Kroupa et al. 2013).

Takođe, još jedno sporno pitanje je gornja granica za masu zvezda (Weidner & Kroupa 2004; Figer 2005). Najčešće se uzima da je to između 100 i 150 M_{\odot} , mada ima indicija da su detektovane i masivnije zvezde. Jedno od pitanja vezanih za PFM je i njena univerzalnost, kako tokom evolucije Univerzuma, tako i za različite galaksije (Bastian et al. 2010). Kao što ćemo u narednim poglavljima videti, raspodela zvezda po masama direktno utiče na procenu stope formiranja zvezda i zato je izuzetno važno reprodukovati PFM što bliže stvarnoj.

2.2 Stopa formiranja zvezda

Pregledima neba sa Zemlje, koji su velike osetljivosti i velike uglovne rezolucije, zajedno sa posmatranjima UV i IC teleskopa van atmosfere, dobili smo značajnu količinu prilično homogenih podataka, kako iz bliskog, tako i dalekog Galaktičkog okruženja, koji se koriste kako bismo unapredili svoja znanja o indikatorima formiranja zvezda. Sinteza različitih posmatranja omogućila je kalibraciju indikatora SFZ, kako na galaktičkim, tako i na mnogo manjim skalama pojedinačnih regiona u kojima se rađaju zvezde. SFZ i ukupna masa predstavljaju osnovne parametre koji definišu galaksiju i njenu evoluciju. SFZ se sa različitom preciznošću meri već nekoliko decenija unazad, ali čini se da je poslednja decenija donela začajan napredak. Svemirski teleskop Spicer (eng. *Spitzer Space Telescope*), GALEX (eng. *Galaxy Evolution Explorer*), svemirski teleskop Habl (eng. *Hubble Space Telescope* HST) i svemirski teleskop Heršel (eng. *Herschel Space Telescope*), zajedno sa posmatranjima sa Zemlje, a posebno celokupnim pregledima neba (npr. SDSS - eng. *Sloan Digital Sky Survey*), unapredili su definiciju indikatora SFZ i proširili je, kako na veći opseg talasnih dužina, tako i na manje prostorne skale.

Pre nego što krenemo dalje, treba naglasiti da postoje indikatori SFZ koji se primenju u dva granična slučaja - (1) globalni, oni koji se odnose na određivanje SFZ u celoj galaksiji; i (2) lokalni, indikatori SFZ koji se koriste na skalama manjim

od nekoliko kpc, unutar galaksije. Očekivano, indikatori globalne SFZ su daleko više proučavani u prošlosti, zbog ograničenih uglovnih rezolucija, ali i primenljivosti na udaljene galaksije. Međutim, lokalnim kalibratorima SFZ se u poslednje vreme posvećuje sve veća pažnja, kako bi se bliže odredili fizički procesi koji upravljaju formiranjem zvezda. Takođe, skora posmatranja izuzetno visokih rezolucija UV, optičkog i IC zračenja, kao i postojanje spektroskopije integralnog polja (eng. *integral-field spectroscopy*)² dodatno inspirišu da se sve češće prave raspodele, odnosno mape SFZ unutar pojedinačne galaksije.

Definisanje lokalne SFZ može da bude problematično ako se odnosi na isuviše mali region, npr. na jedno zvezdano jato. Ako je jato formirano pre 15 miliona godina, onda je njegova trenutna SFZ = 0, iako su zvezde nastale u, za astronome, nedavnoj prošlosti. Da bi se izbegli ovakvi ekstremni slučajevi, određivanje lokalne SFZ treba da se odnosi na više sistema u kojima se formiraju zvezde, kako bi ipak moglo da se smatra da je formiranje zvezda konstantno u nekom vremenskom intervalu. Ovo uglavnom podrazumeva da su regioni u kojima se meri SFZ prečnika nekoliko stotina parseka i više.

Globalni kalibratori SFZ podrazumevaju da zračenje zvezda i prašine dolazi iz celokupne galaksije, zanemarujući njihovu geometriju i prostornu raspodelu, što nikako nije moguće pretpostaviti u regionima unutar galaksije. Potom, može se desiti da zvezde koje se nalaze u regionu unutar galaksije ne popunjavaju celokupnu raspodelu početne funkcije mase, te globalni kalibratori SFZ nisu uvek primenjivi na lokalne regione, i obrnuto. U daljem tekstu, sem u sledećem odeljku, biće prikazani i diskutovani globalni indikatori SFZ.

Indikatori SFZ se kalibrišu već više od tri decenije unazad i to na celokupnom opsegu elektromagnetnog zračenja, od X-zraka, preko UV, optičkog i IC zračenja, pa sve do radio-područja, i to koristeći zračenje i u liniji i u kontinuumu. Poslednji pregledni rad na ovu temu napisali su Kenikatt i Evans, dok su pre toga godinama korišćene relacije koje je ranije dao Kenikatt (Kennicutt & Evans 2012; Kennicutt 1998).

²U upotrebi je i termin 3D spektroskopija, jer se ovom tehnikom za (skoro) svaki piksel prostorne 2D raspodele vidnog polja dobija spektar, odnosno još jedna dimenzija slike.

Tehnike koje se primenjuju kako bi se izmerila brzina kojom se formiraju zvezde veoma variraju, u zavisnosti od toga da li je region na koji se odnosi merenje razlučen u pojedinačne objekte (npr. mlade zvezde) ili ne. Vremenski rok podrazumevamo kada kažemo „nedavno” formirane zvezde je različit, u zavisnosti od sistema na koji se primenjuje. Većina istraživača u ovoj oblasti bi se složilo da se „nedavno” odnosi na $\sim 10 - 100$ miliona godina kada se primenjuje na cele galaksije, dok je u slučaju manjih regiona ili struktura (npr. molekulskih oblaka) to $\sim 1 - 10$ miliona godina.

U regionima koji nisu razlučeni, SFZ se najčešće određuje na osnovu luminoznosti zvezda, bilo monohromatske ili u nekom širem opsegu talasnih dužina, ali sa ciljem da ona potiče od masivnih zvezda, koje kratko žive, te su stoga nedavno formirane i nisu stigle da se dovoljno udalje od regiona formiranja. Kalibracija luminoznosti u SFZ se vrši uz sledećih nekoliko pretpostavki: (1) da je formiranje zvezda kontinuirano tokom određenog vremenskog perioda, karakterističnog za pojedinačni indikator SFZ; (2) da je poznata početna funkcija mase, na osnovu koje se posmatrani broj masivnih zvezda može ekstrapolirati da bi se dobio ukupan broj (masivnih i manje masivnih) rođenih zvezda; (3) i da je početna funkcija mase u potpunosti uzorkovana, odnosno da u svakom pretpostavljenom opsegu mase (čak i za najmasivnije zvezde) imamo bar po jednu, ili više zvezda u regionu za koji želimo da procenimo SFZ. Naravno, ove pretpostavke nisu uvek ispunjene, i zbog toga je nemoguće koristiti iste indikatore SFZ za svaki region ili galaksiju.

Indikatori SFZ u UV, optičkom i bliskom IC ($\sim 0.1 - 5 \mu\text{m}$) delu spektra su osetljivi na zračenje koje direktno potiče od zvezda, dok indikatori u IC i dalekom IC ($\sim 5 - 1000 \mu\text{m}$) delu spektra detektuju zračenje zvezda koje je prethodno „prerađeno” prašinom. Na ove indikatore SFZ treba dodati i one koji se odnose na zračenje jonizovanog gasa, koji je jonizovan zračenjem masivnih, mladih zvezda. Ovde treba napomenuti da foto-jonizovani međuzvezdani gas u galaksiji uglavnom dominira nad gasom koje je jonizovan udarnim talasom (bilo od jakog zvezdanog vetra ili supernove), ili kosmičkim zračenjem (Calzetti et al. 2004). Indikatore SFZ preko jonizovanog gasa predstavljaju rekombinacione linije vodonika (od optičkog, preko IC, pa sve do radio-područja), linije zabranjenih prelaza metala, kao i milimetarsko slobodno-slobodno zračenje u kontinuumu. Takođe, X-zračenje masivnih

dvojnih zvezda, kao i supernovih, može se koristiti za određivanje SFZ. Konačno, čak i sinhrotronsko zračenje galaksije se može koristiti za merenje SFZ, ako ono potiče od kosmičkih zraka koji su nastali odnosno ubrzavaju se u ostacima supernovih, koje dovodimo u vezu sa eksplozijama mladih masivnih zvezda (kolapsirajuće SN, eng. *core-collapse SN*).

U narednih nekoliko odeljaka detaljnije ćemo opisati neke od indikatora SFZ u upotrebi. Naglašavamo da se svuda pretpostavlja da je zračenje od potencijalnog aktivnog galaktičkog jezgra uklonjeno, jer u zavisnosti od talasne dužine zračenja na osnovu koga se procenjuje SFZ, zračenje aktivnog galaktičkog jezgra može davati veliki doprinos ukupnom zračenju galaksije u odnosu na zračenje koje prati formiranje zvezda.

2.2.1 Prebrojavanje objekata i analiza dijagrama boja-magnituda

Ova metoda se odnosi na sisteme kod kojih su objekti koji prate formiranje zvezda razlučeni, kao što su regioni unutar Mlečnog puta. Najčešći pristup koji se koristi je brojanje pojedinačnih objekata ili događaja (npr. supernovih) (Chomiuk & Povich 2011). U molekularnim oblacima, koji se nalaze na udaljenosti od oko 0.5 - 1 kpc od Sunčevog sistema, ovo se postiže brojanjem mladih zvezdanih objekata - MZO (eng. *young stellar objects* YSOs), tj. protozvezda u različitim fazama evolucije, koje se, zbog toga što su i dalje okružene oblakom u kome se stvaraju, primarno detektuju u IC delu spektra. Ukupan broj mladih zvezdanih objekata se pretvara u SFZ preko relacije

$$\text{SFZ(MZO)} = N_{\text{MZO}} \frac{\langle M \rangle}{\tau}, \quad (2.10)$$

gde je $\langle M \rangle$ srednja masa MZO, koja donekle zavisi od početne funkcije mase ali se najčešće uzima vrednost od $0.5 M_{\odot}$, dok se za dužinu života MZO τ uzima dva miliona godina (Evans et al. 2009; Heidermann et al. 2010; Gutermuth et al. 2011). Jedinice u kojima se izražava SFZ su $M_{\odot} \text{ god}^{-1}$, uz specifikaciju regiona na koji se vrednost odnosi.

Pored već pomenutog načina brojanja MZO, što je za sada, osim u našoj Galaksiji, još jedino moguće u obližnjim Magelanovim oblacima, u udaljenijim galaksijama se broje masivne O i Volf-Raje (eng. *Wolf-Rayet*) zvezde, ali se prave i dijagrami boja-magnituda. Fitovanjem dela, ili celokupnog dijagrama boja-magnituda sintetizovanim modelima populacija zvezda, moguće je rekonstruisati i prostorno i vremenski istoriju formiranja zvezda u galaksiji (npr. Dolphin 2002; Weisz et al. 2008). Ovakvim modelovanjem nije moguće dobiti precizne SFZ za intervale manje od 10 miliona godina. Pre nego što su postala dostupna posmatranja izuzetnih uglovnih rezolucija sa HST, modelima zvezdanih populacija su fitovani integrisani spektri celokupnih galaksija, što je pružalo još manje precizne SFZ (Larson & Tinsley 1978).

2.2.2 UV kontinuum

Najmlađe zvezde emituju najveći deo svog zračenja u UV području (na talasnim dužinama kraćim od oko 300 nm), i kada ne bi bilo prašine i neutralnih atoma koji bivaju jonizovani ispod 300 nm, ovo bi bio najidealniji indikator SFZ. U mladom zvezdanom jatru, populaciji zvezda iste starosti, najviše UV zračenja dolazi od zvezda mase nekoliko Sunčevih masa, što implicira da ovo zračenje dolazi od zvezda formiranih u poslednjih 10 - 200 miliona godina. Poređenja radi, životni vek zvezde spektralne klase O6 je oko 6, a zvezde spektralne klase B6 je oko 350 miliona godina. Sa druge strane, zvezda tipa O6 je oko 100 puta sjajnija od zvezde tipa B6 na 150 nm, ali je i zvezda tipa B6 oko 150 puta više formirano nego zvezda tipa O6 u reprezentativnom vremenskom intervalu. Svi ovi parametri, preko pretpostavljene početne funkcije mase i zvezdanih modela ulaze u kalibraciju UV SFZ. Za Kroupinu PFM i pretpostavku konstantne SFZ za prethodnih 100 miliona godina, UV zračenje zvezda koje nije u stanju da jonizuje vodonik ($91.2 \text{ nm} < \lambda < 300 \text{ nm}$) nam daje SFZ od

$$\text{SFZ(UV)} = 3.0 \cdot 10^{-47} \lambda L(\lambda), \quad (2.11)$$

gde je λ dato u angstromima, $L(\lambda)$ u erg/s, a SFZ(UV) u M_{\odot} god $^{-1}$. Zvezdani modeli korišćeni za ovu kalibraciju su Starburst99³, za Sunčeve zastupljenosti elemenata. Ako bi se tražila SFZ za duže intervale od 100 miliona godina, koeficijent u jednačini (2.11) se ne bi mnogo promenio, dok bi za kraće vremenske intervale koeficijent bio nekoliko puta veći (videti tabelu 1.1 u radu Kalzetti (Calzetti 2013), odakle su preuzeti koeficijenti dati u jednačini (2.11)).

Glavna prednost ovakvog načina određivanja SFZ je to što direktno prati zračenje koje potiče od novoformiranih zvezda, kao i to što se sa Zemlje mogu posmatrati galaksije na crvenim pomacima od oko $z \sim 1 - 5$. Poseban doprinos određivanju SFZ(UV) dalo je lansiranje satelita GALEX, zahvaljujući kojem imamo UV flukseve za stotine hiljada udaljenih galaksija (Salim et al. 2007). Međutim, pored toga što zavise od pretpostavljenih PFM, glavni nedostatak SFZ(UV) je apsorpcija UV zračenja prašinom. Određivanje koeficijenata apsorpcije unosi veliku neodređenost u dobijene SFZ, a posebno je problematično što se ispostavlja da prašine najviše ima u regionima najintenzivnijeg formiranja zvezda. Posmatranja GALEX-a u dva opsega, bliskom UV (BUV; 230 nm) i dalekom UV (DUV; 155 nm), nam daje mogućnost da procenimo ekstinkciju koja potiče od prašine (Salim et al. 2007; Hao et al. 2011). Takođe, kombinacijom UV i IC zračenja moguće je dobiti SFZ kod kojih su eliminisani uticaji prašine (videti odeljak 2.2.6). Nedavno je Salim sa saradnicima objavio katalog sa podacima - masa zvezdane populacije, prašina, UV i IC SFZ - za oko 700 000 galaksija na $z < 0.3$, a na osnovu GALEX, SDSS i *WISE* (eng. *Wide-Field Infrared Survey Explorer*) posmatranja (Salim et al. 2016).

2.2.3 Emisione linije

Najviše korišćeni način merenja SFZ je svakako procena na osnovu jačine emisionih linija u optičkom i bliskom IC delu spektra koje potiču iz jonizovanog gasa koji okružuje mlade i masivne zvezde. Zvezde masa iznad oko $15 M_{\odot}$ zrače dovoljno u UV delu spektra da bi u značajnijoj meri jonizovale gas oko sebe. Ovom jonizujućem UV zračenju najviše doprinose zvezde masa oko $30 - 40 M_{\odot}$. Kori-

³Starburst99 je programski paket osmišljen da reprodukuje spektrofotometrijske i ostale podatke galaksija u kojima se rađaju zvezde (Leitherer et al. 1999, 2010, 2014).

steći emisione linije iz jonizovanog gasa oko mladih zvezda dobijamo skoro trenutne vrednosti brzine rađanja zvezda, jer zvezde pomenutih masa žive oko 3 – 10 miliona godina. Upotreba $H\alpha$ i drugih emisionih linija kao indikatora SFZ je značajno porasla poslednjih petnaestak godina zbog velikih spektroskopskih pregleda neba, tj. posmatranja dalekih galaksija, kao i posmatranja bližeg okruženja kroz uskopojasne filtere. Unapređenjem instrumenata u IC delu spektra imamo prve sistematske preglede neba u Pašenovoj i Breketovoj seriji vodonika, kao i posmatranja $H\alpha$ linije pomerene ka crvenom delu spektra iz galaksija na većim crvenim pomacima. O $H\alpha$ liniji kao indikatoru SFZ govorićemo detaljnije u poglavlju 3.1, dok ćemo ovde pomenuti još neke linije koje su u upotrebi.

Kao što je već rečeno, linija $H\alpha$ kao indikator SFZ se koristi na nižim crvenim pomacima ($z < 0.5$), ali i na većim ($z \sim 1 - 3$), dok se na nekim umerenim z može koristiti zabranjeni prelaz jonizovanog kiseonika, tj. dublet linija [O II], na 372.7 nm. Ova linija se u optičkom delu spektra može posmatrati do na $z \approx 1.6$, što je, uz veliki intenzitet linije, njena glavna prednost. Međutim, njena mana je to što joj intenzitet manje zavisi od jonizujućeg fluksa, a više od zastupljenosti elemenata i fizičkih parametara gasa, u odnosu na liniju $H\alpha$. Zato se jačina $H\alpha$ linije koristi kako bi se posredno kalibrisala linija [O II] kao indikator SFZ. Kenikat je dao relaciju za SFZ iz linije [O II], međutim, ispostavilo se da joj se disperzija jako velika, te da se mora dodatno kalibrisati kako bi se mogla pouzdano koristiti (Kennicutt 1998; Kewley, Geller & Jansen 2004; Moustakas, Kennicutt & Tremonti 2006).

U poslednje vreme puno pažnje se daje upotrebi linije $Ly\alpha$ ($\lambda_{lab} = 121.6$ nm) kao indikatora SFZ na velikim crvenim pomacima (Ouchi et al. 2009, 2010). Pre svega, to je zbog njenog intenziteta, pošto je ona skoro deset puta jača od linije $H\alpha$. Međutim, linija $Ly\alpha$ je mnogo više podložna ekstinkciji od strane MZM, kako gasa, tako i prašine, što se najčešće kvantifikuje sa udelom „pobeglih” $Ly\alpha$ fotona (eng. *Ly α escape fraction*). Nekoliko grupa se bavi ovim problemom, i to upoređivanjem $Ly\alpha$ flukseva sa nekim nezavisnim indikatorom SFZ, npr. linijom $H\alpha$ ili UV kontinuumom (Blanc et al. 2011; Hayes et al. 2011). Za sada je primetno da se SFZ dobijene iz linije $Ly\alpha$ razlikuju čak i do dva reda veličine od SFZ na osnovu drugih indikatora, i da se ta razlika menja sa starošću svemira.

U razvoju je takođe upotreba nekih zabranjenih linija u IC području, koje potiču od hlađenja gasa u H II regionima, kao indikatora SFZ. Upotrebom podataka sa teleskopa Spicer, Ho i Keto su došli do zaključka da se zbir intenziteta linija [Ne II] 12.8- μm i [Ne III] 15.6- μm dobro skalira sa intenzitetom rekombinacionih linija vodonika (Ho & Keto 2007). Slično je rađeno i sa [C II] 158- μm linijom, u foto-disocijativnim regionima oko molekulskih oblaka, mada sa manje uspeha, ali pogodnost posmatranja ovih linija sa Zemlje, na velikim z , kao i dostupnost posmatranja sa teleskopa Heršel, stimulišu nastavak rada u ovom pravcu (Boselli et al. 2002; Rodriguez-Fernandez et al. 2006).

2.2.4 IC zračenje

Značajan deo bolometrijske luminoznosti galaksije je apsorbovan međuzvezdanom prašinom i potom reemitovan u IC delu spektra. Pošto prašina najefikasnije apsorbuje UV zračenje, IC zračenje se može koristiti kako bi se identifikovale mlade zvezde koje su jaki UV emiteri, a samim tim i merila trenutna SFZ. Međutim, prašinu mogu zagrevati i starije zvezde, a takođe, u zavisnosti od sastava i prostorne raspodele prašine, imamo različite efikasnosti apsorpcije IC zračenja. Najidealniji za primenu IC zračenja kao indikatora SFZ bi bili slučajevi prašinom bogatih zvezdorodnih galaksija, u kojima su dominantne mlade zvezde, i gde prašina u potpunosti apsorbuje UV zračenje. Nažalost, u realnosti imamo sve tipove galaksija duž Hablove viljuške, kao i različite osobine prašine.

Ovde će biti prikazani rezultati drugih autora koji su dobijeni na osnovu posmatranja sa svemirskih teleskopa Heršel i Spicer, ali značajan doprinos razvoju upotrebe IC zračenja kao kalibratora SFZ dale su i misije *WISE* i *Planck* (Wright et al. 2010; Planck Collaboration: Ade et al. 2011). Kalibracije SFZ proistekle iz sveobuhvatnog, celovitog pregleda neba na 12 i 22 μm teleskopom *WISE* su date u radovima Lija sa saradnicima, i Vena sa saradnicima, dok je u radu Klemensa sa saradnicima data kalibracija SFZ na osnovu ukupnog, tj. totalnog IC (TIC) zračenja merenog teleskopom *Planck* (0.3 – 11 mm) (Clemens et al. 2013; Lee, Hwang & Ko 2013; Wen et al. 2014).

Kao što se i može naslutiti, zračenje prašine na različitim talasnim dužinama

potiče od različitih komponenti prašine. Na talasnim dužinama od $\sim 5 - 20 \mu\text{m}$ spektrom dominiraju široke emisione trake policikličnih aromatičnih ugljovodonika. Na talasnim dužinama većim od $20 \mu\text{m}$ dominantno je termalno zračenje najbrojnije populacije zrna prašine ($T \geq 50 \text{ K}$), dok na dužinama do $\sim 60 \mu\text{m}$ imamo zračenje malih zrna prašine koja su pobuđena fotonima nekog pozadinskog zračenja (najčešće iz okolnog regiona gde se formiraju zvezde). Na još većim talasnim dužinama, zračenje potiče od najvećih zrna prašine koji su termodinamičkoj ravnoteži na temperaturi od oko $15 - 20 \text{ K}$ (o zračenju prašine videti članke Draine 2003, 2009).

Kao posledica postojanja nekoliko komponenti prašine, prilikom kalibracije IC zračenja za potrebe određivanja SFZ očekivano je da su koeficijenti različiti u zavisnosti od frekvencionog opsega zračenja. Međutim, na početku upotrebe IC zračenja kao indikatora SFZ korišćene su integrisane luminoznosti, duž celog opsega IC zračenja - TIC (npr. od $8 - 1000 \mu\text{m}$, mada se u literaturi koriste različiti opsezi). Ovo ima svojevrstu prednost, jer uzima u obzir zračenje svih komponenti prašine. Koeficijenti koje je za određivanje SFZ(TIC) dao Kenikatt, pod pretpostavkom da je zvezdana populacija mlada i da je celokupno zračenje prerađeno prašinom, i danas su u upotrebi (Kennicutt 1998). Međutim TIC luminoznosti nisu dostupne u velikom broju slučajeva, tako da se koriste monohromatske kalibracije, i to uglavnom podešene na neku od talasnih dužina dostupnih iz merenja sa teleskopa Heršel i Spicer - $24, 70$ i $160 \mu\text{m}$ (npr. Wu et al. 2005; Alonso-Herrero et al. 2006; Calzetti et al. 2007; Relano et al. 2007; Rieke et al. 2009; Calzetti et al. 2010a).

Kao i u slučaju ostalih indikatora SFZ, i IC zračenje ima svoje nedostatke. Kako UV i optičkim indikatorima promakne zračenje koje je apsorbovano prašinom, tako IC indikatori propuste zračenje koje nije apsorbovano prašinom (Hirashita et al. 2001). Udeo zračenja zvezda koje biva procesuirano prašinom varira od oko 100% u zvezdorodnim galaksijama, do skoro nula u gasom i prašinom siromašnim eliptičnim galaksijama. Na ovo imamo da dodamo još jedan efekat koji deluje u kontra smeru, a to je da zvezde koje su već značajno evoluirale (starije od 100-200 miliona godina) značajno doprinose zagrevanju prašine, a samim tim i precenjivanju SFZ. Udeo mladih zvezda u ukupnom broju zvezda koje zagrevaju prašinu se kreće od skoro 100%, u jezgrima zvezdorodnih galaksija, pa do oko 10% u galaksijama koje su već

u podmakloj fazi evolucije (Sauvage & Thuan 1992; Cortese et al. 2008).

Najbolji način da se prevaziđu pomenuti problemi sa kalibracijom IC zračenja kao indikatora SFZ jeste da se kombinuje IC i zračenje u nekom drugom opsegu, npr. UV ili optičkom (videti u odeljku 2.2.6). Na ovaj način je moguće izvesti zaključke o zvezdanoj populaciji koju okružuje prašina i naći korekcije za SFZ(IC) koje se primenjuju kada postoji samo merenje IC zračenja (Calzetti et al. 2010b). Na sreću, čini se da se u većini galaksija sa značajnijom SFZ kompenzuju nepotpuna apsorpcija UV zračenja prašinom i zagrevanje prašine od strane starijih zvezda, ali zato treba izbegavati upotrebu IC zračenja kao indikatora SFZ u galaksijama koje su niskih metaličnosti i slabog sadržaja gasa i prašine.

2.2.5 Zračenje u radio i X-području

Radio-zračenje na centimetarskim talasnim dužinama se sastoji iz termalne komponente – zračenja slobodno-slobodnih prelaza jonizovanog vodonika, takoreći ravnog spektra (u logaritamskoj skali), i strme komponente – netermalnog sinhrotronskog zračenja. Termalna komponenta može da se izdvoji iz ukupnog zračenja, ako postoje merenja radio-zračenja na više frekvencija, i na taj način dobijamo meru jonizujućeg zračenja mladih zvezda, ali koja nije izložena ekstinkciji prašinom, što je slučaj sa npr. Balmerovim linijama (Israel & van der Hulst 1983; Niklas, Klein & Wielebinski 1997; Murphy et al. 2011).

Na nižim frekvencijama, radio-zračenje je najvećim delom sinhrotronsko zračenje, koje pretežno potiče od čestica ubrzanih u ostacima supernovih. SFZ na osnovu sinhrotronskog radio-zračenja je dobijena empirijski, ustanovljavanjem jako dobre korelacije radio i dalekog IC zračenja galaksija (npr. Helou, Soifer & Rowan-Robinson 1985; Condon 1992). Unapređenjem radio-teleskopa VLA (od eng. *Very Large Array*) 2011. godine u Janski VLA, od kada su prijemnici značajno poboljšani, radio-zračenje se počelo koristiti kao primarni kalibrator SFZ za galaksije na velikim crvenim pomacima. Najčešće se kalibracija odnosi na zračenje na 1.4 GHz (Yun, Reddy & Condon 2001; Bell 2003). U ovoj disertaciji ćemo navesti kalibraciju koja se odnosi na Kroupinu početnu funkciju mase.

Kao što je rečeno ranije, kalibracije SFZ koje se odnose na daleko IC zračenje

prestaju da važe za galaksije niskog sjaja, zbog toga što se u njima nalazi manje prašine. Sa druge strane, korelacija između radio i IC SFZ opstaje na celom opsegu luminoznosti galaksija. Međutim, svakako treba biti oprezan sa primenjivanjem radio-SFZ za galaksije niskog sjaja (više o ovome se može naći u Belovom radu (Bell 2003)).

X-zračenje koje ne potiče iz akrecije materije unutar aktivnog galaktičkog jezgra, već od masivnih dvojnih i pojedinačnih zvezda, eksplozija supernovih ili ostataka supernovih, može se indirektno vezati za formiranje zvezda. U prilog tome ide i uočena jaka korelacija između fluksa galaksija na 2 – 10 keV i njihovog IC zračenja, odnosno netermalnog radio-kontinuum (Bauer et al. 2002; Ranalli, Comastri & Setti 2003; Symeonidis et al. 2011). Interpretacija procesa koji se kriju iza ove relacije je veoma kompleksna, i zbog nedostatka većeg uzorka galaksija sa spektrima X-zračenja, kako bi se odredili doprinosi pojedinačnih izvora, za sada još uvek nema teorijskog pristupa određivanju SFZ(X). Za obližnje galaksije, u kojima se na osnovu X-spektara mogu razlučiti doprinosi pojedinačnih vrsta objekata, Persik sa saradnicima je izveo relaciju posebno za fluks tvrdog X-zračenja (2 – 10 keV) masivnih rendgenskih (X) dvojnih zvezda (eng. *high mass X-ray binary* – HMXB) (Persic et al. 2004). Ovakav pristup određivanju SFZ(X) bi u budućnosti, kada bude postojao veći broj galaksija u kojima je moguće razdvojiti doprinose pojedinačnih izvora X-zračenju, trebao da bude univerzalniji (za primenu kod svih tipova galaksija) od određivanja SFZ na osnovu ukupnog X-zračenja. Tome u prilog ide činjenica da su masivne rendgenske dvojne zvezde indikator trenutnog rađanja zvezda. U tabeli sa koeficijentima za kalibraciju SFZ(X) data je malo izmenjena veza Ranalija sa saradnicima, pod pretpostavkom Kroupine početne funkcije mase (Ranalli et al. 2003).

2.2.6 Stopa formiranja zvezda iz kombinacije zračenja u različitim područjima

Kombinacijom zračenja različitih talasnih dužina dobijamo priliku da nadomestimo nedostatke pojedinačnih indikatora SFZ. Ovo se najčešće radi za kombinaciju

UV ili optičkog zračenja sa IC zračenjem, kako bi se eliminisao nepoželjan uticaj prašine. Trenutno, ovaj pristup je moguć za obližne galaksije, ali kako bude napredovalo merenje IC zračenja na velikim crvenim pomacima, tako će se ovaj dijagnostički metod koristiti sve više i na udaljene galaksije.

U većini slučajeva se koristi linearna kombinacija zračenja u dva opsega, od čega je jedan opseg iz IC područja.

$$L_{\text{corr}} = L_{\text{obs}} + \eta L(\text{IC}), \quad (2.12)$$

gde L_{obs} predstavlja posmatranu luminoznost, a L_{corr} luminoznost korigovanu na osnovu zračenja u IC području. Koeficijent η može biti kalibrisan teorijski, na osnovu evolutivnih modela sinteze zvezdanih populacija, ili empirijski, koristeći nezavisna merenja za procenu zračenja prašine. Kada je u pitanju merenje SFZ na osnovu zračenja u liniji $\text{H}\alpha$, parametar η se određuje iz Balmerovog dekrementa⁴ ili odnosa nekih drugih rekombinacionih linija vodonika, najčešće $\text{Pa}^5/\text{H}\alpha$ (Calzetti et al. 2007; Zhu et al. 2008; Kennicutt et al. 2009; Treyer et al. 2010). Prilikom korišćenja ovih multifrekvencionih indikatora SFZ, treba imati u vidu da se η koeficijent razlikuje za do 1.5 puta kada se primenjuje na zvezdorodne u odnosu na normalne galaksije (Kennicutt et al. 2009). Svakako, kombinovani indikatori SFZ se mogu koristiti kako bi se u budućnosti bolje kalibrisali monohromatski indikatori SFZ. U tabeli 2.1 dajemo neke od koeficijenata koji su u upotrebi za dobijanje SFZ iz merenja zračenja na dve talasne dužine.

2.2.7 Koeficijenti za izračunavanje stope formiranja

Preglednosti radi, u tabeli 2.2 dajemo koeficijente na osnovu kojih se mogu izračunati SFZ za sve već pomenute indikatore formiranja zvezda. Stopa formiranja zvezda se računa po formuli

⁴Podrazumeva merenje odnosa $\text{H}\alpha/\text{H}\beta$ emisionih linija i poređenje sa teorijski očekivanim odnosom, koji iznosi 2.86 za temperaturu $T = 10^4$ K i elektronsku koncentraciju $n_e = 10^2 \text{cm}^{-3}$. Na osnovu izraza $A_{\text{H}\alpha} = 6.531 \log \text{H}\alpha/\text{H}\beta - 2.981$ se može proceniti ekstinkcija zračenja u liniji $\text{H}\alpha$ prašinom. Videti npr. rad Sobrala sa saradnicima i rad Domingeza sa saradnicima (Sobral et al. 2012; Dominguez et al. 2013).

⁵ $\text{Pa}\alpha$ predstavlja prvu emisionu liniju u Pašenoj seriji (prelazi na treći energetski nivo) spektra atoma vodonika. Talasna dužina joj je 1875 nm, i nalazi se u IC delu spektra.

Tabela 2.1: Koeficijenti za računanje SFZ iz kombinacije zračenja u različitim područjima.

SFZ	Referenca
$L_{\text{corr}}(\text{DUV}) = L_{\text{obs}}(\text{DUV}) + 0.46 \cdot L(\text{TIC})$	Hao et al. (2011)
$L_{\text{corr}}(\text{DUV}) = L_{\text{obs}}(\text{DUV}) + 3.89 \cdot L(25\mu m)$	Hao et al. (2011)
$L_{\text{corr}}(\text{DUV}) = L_{\text{obs}}(\text{DUV}) + 7.2 \cdot 10^{14} L(1.4\text{GHz})^*$	Hao et al. (2011)
$L_{\text{corr}}(\text{BUV}) = L_{\text{obs}}(\text{BUV}) + 0.27 \cdot L(\text{TIC})$	Hao et al. (2011)
$L_{\text{corr}}(\text{BUV}) = L_{\text{obs}}(\text{BUV}) + 2.26 \cdot L(25\mu m)$	Hao et al. (2011)
$L_{\text{corr}}(\text{BUV}) = L_{\text{obs}}(\text{BUV}) + 4.2 \cdot 10^{14} L(1.4\text{GHz})^*$	Hao et al. (2011)
$L_{\text{corr}}(\text{H}\alpha) = L_{\text{obs}}(\text{H}\alpha) + 0.0024 \cdot L(\text{TIC})$	Kennicutt et al. (2009)
$L_{\text{corr}}(\text{H}\alpha) = L_{\text{obs}}(\text{H}\alpha) + 0.020 \cdot L(25\mu m)$	Kennicutt et al. (2009)
$L_{\text{corr}}(\text{H}\alpha) = L_{\text{obs}}(\text{H}\alpha) + 0.011 \cdot L(8\mu m)$	Kennicutt et al. (2009)
$L_{\text{corr}}(\text{H}\alpha) = L_{\text{obs}}(\text{H}\alpha) + 0.039 \cdot 10^{14} L(1.4\text{GHz})^*$	Kennicutt et al. (2009)

* Radio-luminoznost je data u jedinicama $\text{erg s}^{-1} \text{Hz}^{-1}$.

$$\text{SFZ} = C \cdot L_i, \quad (2.13)$$

gde je SFZ data u $M_{\odot} \text{god}^{-1}$, dok su jedinice za L_i date u tabeli 2.2, jer se razlikuju u zavisnosti od opsega na kome se primenjuju. Prva kolona u tabeli 2.2 daje opseg talasnih dužina na koji se odnose koeficijenti za računanje SFZ. U drugoj koloni je prikazan raspon godina na koji se odnosi procena SFZ. Srednji broj predstavlja srednju starost populacije zvezda koja doprinosi zračenju na osnovu koga se procenjuje SFZ, dok treći broj predstavlja vreme nakon koga je 90% ove emisije već izračeno. U poslednjoj koloni su date reference na radove iz kojih su koeficijenti preuzeti. Skoro sve kalibracije su bazirane na evolutivnim modelima sinteze zvezdanih populacija, u kojima su evoluirane sintetičke populacije zvezda određenih metaličnosti do određene starosti, a primenom Kroupine PFM⁶ (Kroupa & Weidner 2003). Za generisanje spektralne raspodele zračenja galaksija u kojima se formiraju zvezde korišćen je softver Starburst99 (Leitherer et al. 1999, 2014). Za koeficijente date u tabeli 2.2 pretpostavljena je Sunčeva metaličnost, ali treba imati na umu da su sva izračunavanja osetljiva na promenu metaličnosti. U literaturi se pojavljuju

⁶Više o početnoj funkciji mase u odeljku 2.1.3.

Tabela 2.2: Koeficijenti za računanje SFZ.

Opseg zračenja	Opseg godina*	Jedinice za L_i	C	Reference
daleko UV	0-10-100	$\text{erg s}^{-1} (\nu L_\nu)$	$4.47 \cdot 10^{-44}$	Hao et al. (2011) Murphy et al. (2011)
blisko UV	0-10-200	$\text{erg s}^{-1} (\nu L_\nu)$	$6.76 \cdot 10^{-44}$	Hao et al. (2011) Murphy et al. (2011)
H α	0-3-10	erg s^{-1}	$5.37 \cdot 10^{-42}$	Hao et al. (2011) Murphy et al. (2011)
TIC 3-1100 μm	0-5-100	erg s^{-1}	$3.89 \cdot 10^{-44}$	Hao et al. (2011) Murphy et al. (2011)
24 μm	0-5-100	$\text{erg s}^{-1} (\nu L_\nu)$	$2.04 \cdot 10^{-43}$	Rieke et al. (2009)
70 μm	0-5-100	$\text{erg s}^{-1} (\nu L_\nu)$	$5.89 \cdot 10^{-44}$	Calzetti et al. (2010b)
1.4 GHz	0-100	$\text{erg s}^{-1} \text{Hz}^{-1}$	$6.31 \cdot 10^{-29}$	Murphy et al. (2011)
2-10 KeV	0-100	erg s^{-1}	$1.70 \cdot 10^{-40}$	Ranalli et al. (2003)

* U milionima godina. U ovom opsegu godina se pretpostavlja da se SFZ održava konstantnom, a broj godina direktno proizlazi iz opsega masa zvezda na koji se primenjuje PFM.

procene da primena modela zvezdanih polpaculacija sa metaličnošću 10 puta manjom nego na Suncu ima za posledicu povećanje SFZ(UV) za oko 20%, dok je SFZ(H α), u slučaju ovolike promene metaličnosti veća čak 2.5 puta, u zavisnosti od pretpostavljene PFM (npr. Smith, Norris & Crowther 2002; Raiter, Schaerer & Fosbury 2010). Zbog toga treba pažljivo upotrebljavati koeficijente za određivanje SFZ za galaksije sa manjim udelom metala, što se posebno odnosi na galaksije na velikim udaljenostima.

3. Linija $H\alpha$ kao indikator stope formiranja zvezda

3.1 Stopa formiranja zvezda iz emisije u liniji $H\alpha$

Linija $H\alpha$ je najjača među rekombinacionim linijama u optičkom delu spektra, koje potiču iz jonizovanog međuzvezdanog gasa koji okružuje mlade vrele zvezde - H II regiona. Kao što je već pomenuto, emisione magline su vrlo efikasne u reemitovanju zračenja zvezda koja se nalaze unutar njih, te nam pružaju mogućnost skoro direktnog merenja luminoznosti ovih mladih zvezda, odnosno stope njihovog formiranja. Jedino zvezde koje prevazilaze masu od oko 15 Sunčevih masa značajno doprinose fluksu koji može da jonizuje međuzvezdani gas, a kako te zvezde imaju životni vek kraći od 20 miliona godina, SFZ koju dobijamo iz emisione linije $H\alpha$ je trenutna SFZ, nezavisna od istorije prethodnog formiranja zvezda.

Faktor konverzije između ukupne emisije izračene u liniji i SFZ se određuje iz kombinacije fizičkih procesa koji se odvijaju u emisionim maglinama i evolutivnih modela sinteze zvezdanih populacija. Veza između jonizujućeg zračenja zvezde i luminoznosti u liniji $H\alpha$ data je u knjizi Osterbroka i Farlanda kao (Osterbrock & Ferland 2006):

$$L(H\alpha) = \frac{\alpha_{H\alpha}^{\text{eff}}}{\alpha_B} h\nu_{H\alpha} Q(H^0) = 1.37 \cdot 10^{-12} Q(H^0), \quad (3.14)$$

pod uslovom da je maglina optički gusta za jonizujuće fotone, što je pretpostavka

tzv. slučaja B⁷ (eng. *case B*) prilikom izvođenja rekombinacionih koeficijenata u fotojonizacionim maglinama. U jednačini je $L(H\alpha)$ dato u erg s^{-1} , $\alpha_{H\alpha}^{\text{eff}}$ je efektivni rekombinacioni koeficijet za liniju $H\alpha$, α_B je rekombinacioni koeficijent za B slučaj rekombinacije, a $Q(H^{\circ})$ je broj jonizujućih fotona u jedinici vremena. Koeficijent sa desne strane jednačine se dobija za elektronsku temperaturu od $T_e = 10000$ K i koncentraciju elektrona od $n_e = 10^2 \text{ cm}^{-3}$. Za Kroupinu PFM za mase zvezda u opsegu od 0.1-100 M_{\odot} , veza između stope jonizujućih fotona $Q(H^{\circ})$ i SFZ je:

$$\text{SFZ} = 7.4 \cdot 10^{-54} Q(H^{\circ}), \quad (3.15)$$

odakle se dobija da je

$$\text{SFZ}(H\alpha) = 5.5 \cdot 10^{-42} L(H\alpha). \quad (3.16)$$

Ako bi se temperatura elektrona menjala u opsegu od $T_e = 5000 - 20000$ K, koeficijent u jednačini bi se razlikovao za do 15%, dok bi u slučaju promene elektronske koncentracije za do četiri reda veličine $n_e = 10^2 - 10^6 \text{ cm}^{-3}$, promena koeficijenta bila manja od 1% (Osterbrock & Ferland 2006).

U literaturi su dostupni brojni kalibracioni koeficijenti, od različitih grupa autora. Varijacija između različitih koeficijenata je značajna, i iznosi do 30%. Razlika u vrednostima koeficijenata potiče od upotrebe raličitih evolutivnih modela sinteze zvezdanih populacija i različitih pretpostavljenih PFM. U ovoj disertaciji korišćemo kalibraciju iz rada Kenikata sa saradnicima, gde su pretpostavljene zastupljenosti kao na Suncu, i Salpeterova PFM, za mase zvezda u opsegu od 0.1-100 M_{\odot} (Kennicutt, Tamblyn & Congdon 1994):

$$\text{SFZ}(H\alpha) = 7.94 \times 10^{-42} L(H\alpha). \quad (3.17)$$

Takođe, pretpostavljen je slučaj B rekombinacije, na temperaturi od $T_e = 10000$ K.

Metoda prema kojoj se SFZ određuje iz linije $H\alpha$ je jedna od najviše korišćenih metoda za procenu SFZ, zahvaljujući prednostima optičkih posmatranja i jačini linije

⁷Slučaj A pretpostavlja maglinu koja je optički retka za jonizujuće zračenje, tj. slučaj kada zračenje „curi” iz nje. Za većinu emisionih maglina slučaj B rekombinacije, kada je maglina optički gusta za jonizujuće zračenje, je sasvim dobra aproksimacija.

H α . Formiranje zvezda u bliskim galaksijama može biti veoma detaljno mapirano čak i sa malim teleskopima, a linija H α (pomerena ka crvenim talasnim dužinama) može biti detektovana u spektru zvezdorodnih galaksija čak do $z \sim 3^8$ (Bechtold et al. 1997; Geach et al. 2008; Sobral et al. 2013).

Glavna ograničenja ove metode su njena osetljivost na nepreciznosti sa kojom su određeni koeficijenti ekstinkcije prašinom i PFM, kao i da li pretpostavka o slučaju B rekombinacije važi. Pretpostavlja se da u srednjem oko 15%, a u ekstremnim slučajevima čak i do 50% jonizujućeg zračenja izađe van H II, odnosno zvezdorodnih regiona. Ovo se može posmatrati bilo direktno, bilo posmatranjem difuzne emisije u liniji H α u bliskim galaksijama (Oey & Kennicutt 1997). U svojoj analizi difuzne emisije u liniji H α Ferguson sa saradnicima je našao da je difuzni gas jonizovan fotonima iz Lajmanovog kontinuuma ($\lambda < 91.2$ nm), koji su „pobegli” iz H II regiona (Ferguson et al. 1996). Stoga, difuznu emisiju u liniji H α treba uključiti u proračun za SFZ na osnovu emisione linije. Na ovo treba dodati da sve ukazuje na to da u relativno bližem okruženju, nižih i umerenih crvenih pomaka, jonizujući fotoni u veoma malom procentu mogu da napuste galaksiju. Heckman sa saradnicima je posmatranjima galaksija na $z \sim 0.1 - 0.25$ odredio da je to manje od 10% (Heckman et al. 2011), dok je za Mlečni put izmereno da je to oko 6% (Bland-Hawthorn & Maloney 1999). Sve ide u prilog tome da merenjem ukupne emisije galaksije u liniji H α ostaje mali deo zračenja mladih zvezda koji bi potencijalno moga promaći, pri proceni SFZ. Svakako, korekcija SFZ(H α) za zračenje koje je otišlo u međugalaktičku materiju bi se mogla napraviti, kada bi se imala preciznija procena udela fotona iz Lajmanovog kontinuuma koji su napustili galaksiju.

Glavni uzrok sistematske greške prilikom određivanja SFZ iz emisije u liniji H α je ekstinkcija prašinom unutar galaksije koja se posmatra. Kao što je već pomenuto u odeljku 2.2.6, ekstinkcija u matičnoj galaksiji može da se koriguje kombinujući posmatranja u liniji H α sa posmatranjima neprekidnog zračenja u IC ili radio-području, na koje ne utiče ekstinkcija (Kennicutt et al. 2009). Vrednosti koeficijenata ekstinkcije mogu da budu u rasponu od $A(\text{H}\alpha) = 0.5 - 1.8$ mag, u zavisnosti od luminoznosti

⁸Ima naznaka da teleskop Spicer može detektovati jaku emisiju u liniji H α do čak $z \approx 4$ (Shim et al. 2011), dok bi budući svemirski teleskop Džejs Veb (eng. *James Webb Space Telescope*) mogao značajno nadmašiti ove udaljenosti.

i tipa galaksije, ali mogu biti i mnogo veće u zvezdorodnim galaksijama (videti Kennicutt 1998; James et al. 2005). Kako korekcija za ekstinkciju koja potiče iz matične galaksije dolazi sa velikom nesigurnošću i time prouzrokuje veliku promenu (skok od čak 2-3 puta) u izračunatim fluksevima, ova korekcija se najčešće ni ne primenjuje prilikom izražavanja SFZ, ili se uzimaju neke fiksirane unapred zadate vrednosti, npr. $A(H\alpha) = 1$ mag (Kennicutt et al. 2008; Sobral et al. 2013). Sa skorašnjim pregledima neba u IC delu spektra (teleskopima *Spicer*, *Heršel* i *WISE*) koji daju procene za količinu prašine u okolinim galaksijama, korekcija za ekstinkciju se sve češće uzima u obzir. Kao što je u odeljku 2.2.6 već pomenuto, kada su dostupna spektroskopska posmatranja, merenjem Balmerovog dekrementa u galaksijama sa normalnom SFZ se dobijaju vrlo dobre procene ekstinkcije.

3.1.1 Kontaminacija $H\alpha$ fluksa

Ovde želimo da naglasimo koliko je značajno da se uoloni zračenje koje kontaminira $H\alpha$ fluks kada se on koristi za procenu SFZ. U spektrima H II regiona sa obe strane linije $H\alpha$ imamo veoma bliske i jake linije [N II] i to na talasnim dužinama od 654.8 nm i 658.3 nm. Većina uskopojasnih $H\alpha$ filtera propušta i deo zračenja koje potiče od ovih linija. Ovaj problem može da se umanja upotrebom različitih metoda, mada svakako povećava neodređenost sa kojom je dobijena SFZ. Spektroskopskim posmatranjima možemo da dobijemo odnose intenziteta linija $H\alpha$ i [N II] i u kombinaciji sa profilom (krivom propusnosti) filtera možemo da dobijemo korekciju za linije [N II]. Druga mogućnost je upotreba veoma uskih [N II] filtera (videti npr. James et al. 2005), ili korišćenje podesivih filtera (kao npr. *Fabry-Pérot* interferometra). Međutim, zbog postojanja gradijenta zastupljenosti azota sa promenom galaktocentrične udaljenosti, prilikom korekcija za zračenje linija [N II], treba biti vrlo oprezan. Najčešće upotrebljavane korekcije za linije [N II] u celoj galaksiji su one koje su 1983. godine dali Kenikat, i Kenikat i Kent, i koje su se razlikovale za različite tipove galaksija (Kennicutt 1983; Kennicutt & Kent 1983). Međutim, pokazalo se da njihovi koeficijenti precenjuju značaj zračenja u linijama [N II], odnosno potcenjuju dobijene SFZ. Džejms sa saradnicima je predložio da se upotrebljava prosečan odnos intenziteta linija koji su onu dobili za svoj uzorak galak-

sija od $H\alpha/(H\alpha + [N II]) = 0.823$. Koristeći podatke za galaksije iz kataloga SDSS Vilar sa saradnicima je predložio polinomijalnu korekciju za zračenje linija $[N II]$, koja je u poslednje vreme sve više u upotrebi (Villar et al. 2008). Njihova korekcija uzima u obzir, ne samo to što se sa promenom udaljenosti od centra galaksije menja odnos linija $[N II]/H\alpha$, već i to da on zavisi od ekvivalentne širine (EW , od eng. *equivalent width*) linija. Veza između logaritma odnosa intenziteta linija $[N II]$ i $H\alpha$ – $y = \log(I_{[N II]}/I_{[H\alpha]})$, i logaritma ekvivalentne širine – $x = \log(EW(H\alpha + [N II]))$ je data izrazom $y = -5.78 + 7.63x - 3.37x^2 + 0.42x^3$, za $EW > 50 \text{ \AA}$. Na ovaj način se dobija da mereni fluks linije $H\alpha$ zbog kontaminacije linijama $[N II]$ treba umanjiti za 25% (Sobral et al. 2009). Kenikat sa saradnicima je za svoj $H\alpha$ katalog galaksija koristio spektroskopski dobijene odnose linija $[N II]$ i $H\alpha$, ne uzimajući u obzir njihov gradijent sa promenom galaktocentrične udaljenosti (Kennicutt et al. 2008). Za one galaksije koje nemaju spektroskopska merenja, razvio je statističku relaciju, kod koje odnos $[N II]/H\alpha$ zavisi od apsolutne magnituda galaksije u B filteru.

Drugi uzrok kontaminacije $H\alpha$ fluksa su izvori koji zrače intenzivno u liniji $H\alpha$, a nisu H II regioni koji okružuju mlade i masivne OB zvezde. Svi oni prouzrokuju da su SFZ precenjane. Širok je spektar takvih objekata: ostale emisione magline, kao što su planetarne magline i ostaci supernovih; aktivna galaktička jezgra (AGJ); ultraluminozni X-objekti (ULX) i magline koje ih okružuju; mikrokvazari; zvezde u Galaksiji (eng. *foreground stars*) koje imaju emisiju liniju $H\alpha$ u svom spektru; supermehuri (eng. *superbubbles*). Do sada, ni jedan od ovih tipova objekata nije bio detaljno razmatran kao potencijalni izvor sistematske greške u procenjenim SFZ na osnovu emisije u liniji $H\alpha$.

Neki autori su se bavili izdvajanjem planetarnih maglina prilikom izrade kataloga H II regiona i procene SFZ. Azimlu i saradnici su ovo uradili za galaksiju M31, i ispostavilo se da su planetarne magline odgovorne za svega 1% ukupne emisije u liniji $H\alpha$ (Azimlu, Marciniak & Barmby 2011). Problem sa planetarnim maglinama, kao i sa OSN, je taj što ih je teško razdvojiti od kompaktnih H II regiona samo na osnovu emisije u liniji $H\alpha$. To je svakako moguće na osnovu dodatnih posmatranja u uskopojasnim filterima, najčešće u liniji $[O III]$ na 500.7 nm. Takođe, planetarne magline su dimenzija manjih od većine H II regiona. Kompaktni H II regioni, oni

koji su pobuđeni zračenjem samo jedne zvezde, su dimenzija sličnih dimenzijama planetarnih maglina (manji od 1 pc), međutim, većina H II regiona je pobuđena asocijacijama, ili čak jatima mladih zvezda, te su s toga značajno većih dimenzija. Sa druge strane, OSN mogu biti različitih dimenzija, od kompaktnih (svega nekoliko parseka), pa do ogromnih (do 100 pc), u zavisnosti od toga u kom stadijumu evolucije se nalaze, kao i od energije eksplozije i gustine MZM (Čajko, Crawford & Filipović 2009).

Neka AGJ su vrlo sjajna u liniji $H\alpha$, usled emisije koja potiče iz širokolinijskih i uskolinijskih oblasti, a sve u zavisnosti od crvenog pomaka i inklinacije aktivnih galaksija. Uzevši u obzir vrlo kompaktnu dimenziju AGJ, i svakako skroman broj onih AGJ koji se mogu naći u projekciji neke posmatrane galaksije, njihov doprinos ukupnom zračenju galaksije u liniji $H\alpha$ je najverovatnije zanemariv. Međutim, u poslednje vreme je bilo pokušaja da se AGJ isključe iz uzorka rađajućih (eng. *star-forming*) galaksija kod kojih su računate SFZ (Garn et al. 2010; Villar et al. 2011).

ULX objekti su kompaktni X-izvori, locirani van centra svoje matične galaksije, a koji zrače daleko iznad Edingtonove luminoznosti⁹ za crnu rupu od $20 M_{\odot}$ ($L_X \sim 3 \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$). U poslednje vreme, sve češće se detektuju neobične emisione magline oko ULX izvora. Neke od takvih maglina su i izvor IC342 X-1 u galaksiji IC342 (Roberts et al. 2003; Abolmasov et al. 2007; Feng & Kaaret 2008), Holmberg IX X-1 u galaksiji Holmberg IX (Fabbiano 1988; Gladstone, Roberts, & Done 2009; Moon et al. 2011; Gris  et al. 2011) i MF 16 (naziv je iz Matonick & Fesen 1997) u NGC 6946 (Roberts & Colbert 2003). Najverovatnije je da ovo zračenje potiče iz akrecionog diska. Kako su ove magline uglavnom sjajne u liniji $H\alpha$, one predstavljaju potencijalne kontaminatore $H\alpha$ fluksa iz kog se određuje trenutna SFZ, iako se ULX izvori mogu koristiti za procenu stope nekog ranijeg formiranja zvezda. U galaksiji NGC 6946 izvor MF16 doprinosi sa svega 0.1% ukupnom $H\alpha$ fluksu, kao što je slučaj i sa izvorom IC342 X-1 u galaksiji IC342. Međutim, može se desiti da SFZ određene iz $H\alpha$ fluksa mogu biti značajno precenjene ako se iz ukupnog fluksa galaksije ne

⁹Edingtonova luminoznost, ili Edingtonova granica je maksimalna luminoznost koju telo (zvezda) može imati, a da mu je gravitaciono privlačenje na površini jače od pritiska zračenja. U slučaju akrecionih diskova, uslov da je luminoznost manja od Edingtonove daje maksimalnu (Edingtonovu) stopu akrecije, do koje pritisak zračenja neće prekinuti akreciju materije. Po engleskom astrofizičaru Ser Arturu Edingtonu (1882-1944).

ukloni fluks koji potiče iz emisione magline koja okružuje ULX objekat. Kao što će kasnije biti pokazano (u odeljku 5.2.3) na zračenje objekta Holmberg IX X-1 odlazi čak 75% ukupnog zračenja u liniji $H\alpha$ iz ove patuljaste galaksije (Anđelić 2011).

Mikrokvazari su X-dvojni sistemi sa akrecionim diskom, relativističkim mlazovima (eng. *jet*) koje uglavnom prati i jako, promenljivo zračenje u radio-području. Oni takođe mogu biti okruženi emisionom maglinom. Velika maglina S26 (iz Blair & Long 1997) u obližnjoj galaksiji NGC 7793 je maglina koja je nastala dejstvom mlaza iz snažnog mikrokvazara (Pakull, Soria & Motch 2010). $H\alpha$ emisija iz ovog izvora nije pokazatelj formiranja zvezda.

Zvezde sa emisionim linijama u svom spektru, kao što su O i B superdžinovi i Volf-Rajeove zvezde, imaju izražene optičke emisione linije, a posebno linije iz Balmerove serije. Kod većine ovakvih zvezda, zračenje potiče od jakog zvezdanog vetra. Međutim, iako ove zvezde imaju vrlo jako zračenje u $H\alpha$ liniji, njihovo zračenje u kontinuumu je takođe vrlo intenzivno, pa se zbog toga vrlo lako mogu razdvojiti od H II regiona. Stoga, ako bi neka od zvezda iz naše Galaksije koja se nalazi ispred galaksije koju posmatramo imala izražene emisione linije, njeno zračenje bi se lako moglo ukloniti iz ukupnog $H\alpha$ fluksa i one ne bi trebalo da predstavljaju izvor sistematske greške prilikom određivanja SFZ.

Supermehuri su regioni koji najčešće okružuju OB asocijacije. Ova vrsta emisione magline se snabdeva energijom iz zvezdanih vetrova, UV zračenja zvezda i povremenih eksplozija supernovih. Sa druge strane, magline nastale dejstvom zvezdanog vetra (eng. *wind-blown nebulae*) su povezane sa H II regionima, ali su nastale jonizujućim udarnim talasom koji potiče od jakog vetra. Brzine fronta udarnog talasa kod supermehura su male ($< 100 \text{ km s}^{-1}$) u odnosu na brzine udarnog talasa kod klasičnih OSN u kasnijim fazama evolucije ($100 - 1000 \text{ km s}^{-1}$). Modernom posmatračkom opremom, a posebno teleskopima u orbiti, supermehuri se od OSN razlikuju detekcijom mladih zvezda, tj. OB asocijacija. U potrazi za OSN unutar galaksije M31 Li i Li su od prethodnog uzorka OSN izdvojili 44 supermehura, čije zračenje iznosi 1.3% ukupnog $H\alpha$ zračenja galaksije M31 (Lee & Lee 2014a). U slučaju galaksije M101, zračenje 10 supermehura predstavlja 0.3% ukupnog $H\alpha$ fluksa (Franchetti et al. 2012).

Cilj ove disertacije je određivanje uticaja zračenja OSN na SFZ na osnovu emisije u liniji $H\alpha$. Da bismo to sprovedi, sastavili smo uzorak svih do sada detektovanih OSN u optičkom delu spektra u okolnim galaksijama, a takođe smo izvršili i sopstvena posmatranja sa ciljem detekcije OSN u bliskim galaksijama. O tome više u glavama 5 i 6, dok ćemo se u narednom poglavlju kratko osvrnuti na to dokle se stiglo sa $H\alpha$ -mapiranjem stope formiranja zvezda bliskog okruženja naše Galaksije.

3.2 Blisko vangalaktičko okruženje u liniji $H\alpha$

Sistematsko merenje $H\alpha$ flukseva u obližnjim galaksijama unutar neke fiksirane udaljenosti jedan je od načina na koji se može odrediti SFZ u lokalnom univerzumu. Za jedan takav posmatrački program izuzetno je značajno da u uzorku posmatranih objekata postoje svi tipovi, veličine i orijentacije galaksija, kako bi se izbegli mogući posmatrački selekcionni efekti favorizovanja spiralnih i sjajnih galaksija, viđenih spreda. U našem neposrednom okruženju u mogućnosti smo da posmatramo i patuljaste galaksije, koje se zbog svog slabog sjaja teže detektuju na velikim udaljenostima. Patuljaste galaksije su najbrojnije među galaksijama, i zato je izuzetno bitno njihovo proučavanje. Uzorci galaksija iz našeg neposrednog okruženja predstavljaju jedinstvenu priliku za proučavanje SFZ čak i u uslovima male luminoznosti i male mase gasa, i najčešće nepravilne strukture u patuljastim galaksijama.

Iako fotometrijska posmatranja u liniji $H\alpha$ pored ukupnog fluksa pružaju uvid i u prostornu raspodelu i raspodelu po luminoznostima pojedinačnih regiona gde se rađaju zvezde, što je izuzetno značajno, o SFZ u obližnjim, i ne tako bliskim galaksijama smo najviše saznali iz velikih spektroskopskih pregleda. Tu je najviše uspeha postigao Slounov digitalni pregled neba (SDSS) na osnovu koga se dosta saznalo o SFZ i ostalim karakteristikama galaksija do crvenog pomaka $z \approx 0.2$ (Brinchmann et al. 2004). Međutim, spektroskopskim pregledima su najčešće obuhvaćene galaksije koje imaju velike ekvivalentne širine linije $H\alpha$, i kod kojih je zračenje galaksije u kontinuumu slabo. Kako bi se dobila što sveobuhvatnija slika o SFZ u nekom okruženju, neophodno je da posmatrački program obuhvata sve galaksije do neke magnitude i do nekog crvenog pomaka.

Za sada, postoje fotometrijski fluksevi u liniji $H\alpha$ za oko 400 galaksija u lokalnom univerzumu ($d < 11$ Mpc), od kojih je većina dobijena kroz projekte Kenikata i Karačenceva sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008; Karachentsev & Kaisin 2010; Karachentsev, Kaisin & Karachentseva 2015). Karačencev i Kaisin u svom radu iz 2010. godine navode da je do udaljenosti od 8 Mpc u liniji $H\alpha$ do tada posmatrano oko 62% galaksija, dok je npr. u liniji neutralnog vodonika posmatrano čak 88% ukupnog broja poznatih galaksija, što znači da još uvek ne znamo dovoljno o zračenju galaksija u liniji $H\alpha$ čak ni u našem lokalnom okruženju.

Procena ukupne SFZ postoji za 435 galaksija iz lokalnog okruženja do 10 Mpc (Karachentsev & Kaisin 2010). Karačencev i Kaisin su procenili, uz popravku za nedostajuće patuljaste galaksije u uzorku do udaljenosti od 8 Mpc, bez koje uzorak ostaje prilično nepotpun, da u toj zapremni ukupna SFZ iznosi $53 M_{\odot} \text{ god}^{-1}$. Odavde proizilazi da je srednja gustina trenutne SFZ do 8 Mpc $\rho_{\text{SFR}}(z = 0) = 0.032 M_{\odot} \text{ god}^{-1} \text{ Mpc}^{-3}$.

Kao što mnogo autora navodi (npr. Karachentsev & Kaisin 2007; Thilker et al. 2007; James et al. 2008; Lee et al. 2009) postoji korelacija između SFZ i karakteristika galaksije – njene ukupne luminoznosti, morfološkog tipa, indeksa boje, mase vodonika. O uticaju spoljašnjih efekata na SFZ unutar galaksije vodi se debata (videti npr. Hunter & Elmegreen 2004; James et al. 2004), ali prevladuje stav da je taj uticaj u većini slučajeva slabiji od uticaja koji postoje unutar same galaksije. Mada, svakako postoje izuzeci u slučajevima sudara ili bliskih prolaza galaksija, koje nije teško identifikovati i ako je potrebno ukloniti iz uzorka.

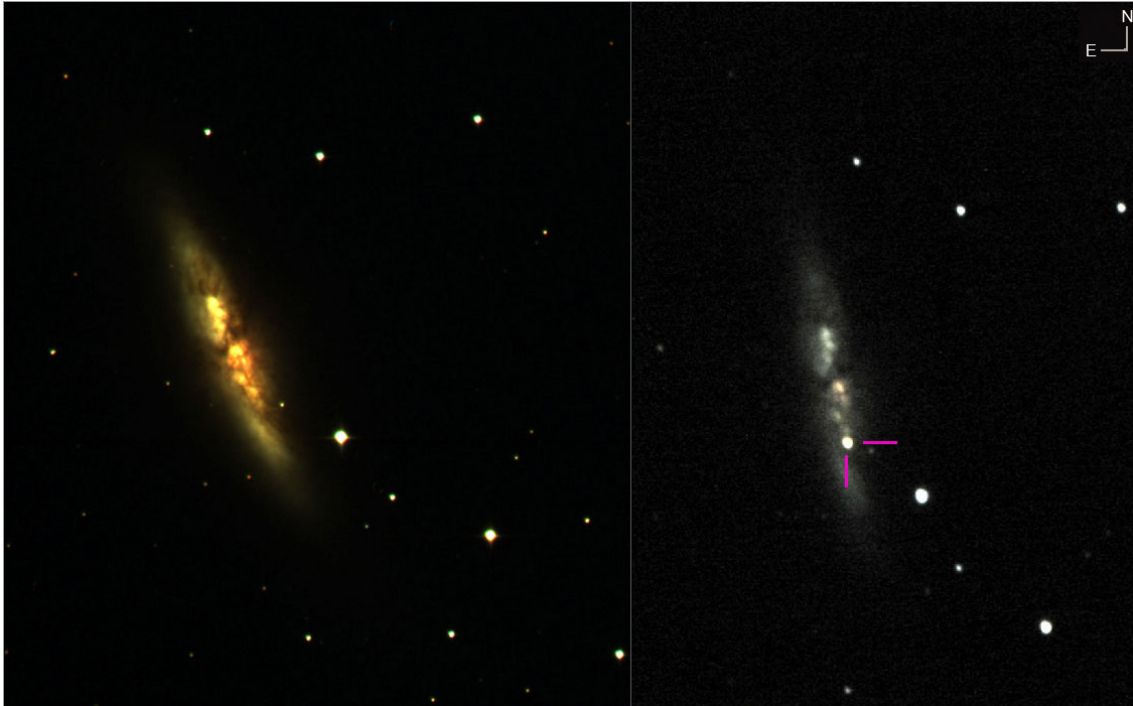
4. Ostaci supernovih

4.1 Ostaci supernovih i njihova evolucija

Pojam supernove je vezan za pojavu nove „zvezde” na nebu, odnosno objekta naglog i velikog porasta sjaja, koji može da traje po nekoliko nedelja, pa i do godinu dana. Smatra se da se supernova (SN) dešava primarno na dva načina. Prvi je vezan za kraj evolucije, odnosno eksploziju izuzetno masivnih mladih zvezda, koje su na početku svog života bile masivnije od $8 M_{\odot}$, čije je jezgro na kraju evolucije masivnije od $1.4 M_{\odot}$ (Čandrasekarova granica). Eksplozija je posledica gravitacionog kolapsa nedegenerisanog jezgra masivne zvezde, pošto se desi fotodisocijacija gvožđa u centru zvezde pri visokim temperaturama (Fowler & Hoyle 1964). Nakon ovakvih SN, koje prema podeli supernovih na osnovu spektralnih karakteristika nose oznaku II ili Ib/c, formiraju se neutronske zvezde i crne rupe.

Drugi način nastanka SN podrazumeva deflagraciju¹⁰ C/O belog patuljka u tesnom dvojnog sistema. Ako je akrecija mase na masivnog belog patuljka u tesnom dvojnog sistema dovoljno brza, u momentu prelaska Čandrasekarove granice iniciraće se kolaps, koji će potom pokrenuti termonuklearne reakcije ugljenika i vodonika, i na kraju razaranje cele zvezde. Ovakve SN su tipa Ia, i one imaju svoju specifičnu krivu sjaja, kao i dobro definisani maksimalni sjaj. Zbog toga su u širokoj upotrebi kao standardne sveće i indirektno su zaslužne za potvrdu toga da se svemir ubrzano širi (Schmidt et al. 1998; Riess et al. 1998; Perlmutter et al. 1998, 1999). Ono što potencijalno kvari njihovu primenu kao standardnih sveća jeste mogućnost da se slična eksplozija dešava pri sudaru dva bela patuljka u sistemu, čija ukupna

¹⁰Deflagracija podrazumeva prenošenje poremećaja kroz sredinu brzinom manjom od brzine zvuka, dok je kod detonacije brzina nadzvučna.



Slika 4.3: SN2014J u galaksiji M82. Najbliža detektovana SN Ia u poslednje 43 godine, dovoljno sjajna da se je posmatrali i astronomi amateri. Fotografije su preuzete sa sajta Nacionalne astronomske opservatorije Rožen u Bugarskoj.

masa prelazi $1.4 M_{\odot}$ (eng. *double degenerate scenario*)(videti npr. Webbink 1984).

Klasifikacija supernovih je istorijski urađena na osnovu karakteristika njihovih spektara. SN tipa I nemaju linije vodonika u svojim spektrima, dok SN tipa II pokazuju prisustvo vodonika. Iako je prvobitno izgledalo da SN tipa I čine jednu veoma homogenu grupaciju objekata, pokazalo se da se tu izdvajaju tri potklase - a, b i c, od čega samo SN Ia potiču od termonuklearne eksplozije, dok su Ib/c, kao i sve SN tipa II tzv. kolapsirajuće (eng. *core-collapse*) SN. SN tipa Ib i Ic se verovatno dešavaju kod izuzetno masivnih mladih zvezda, koje su prilikom eksplozije već imale ogoljen omotač usled jakog zvezdanog vetra, pa zbog toga nemaju linije vodonika (Ib), odnosno ni vodonika ni helijuma (Ic). SN tipa II imaju daleko raznovrsnije spektre nakon eksplozije, zbog čega postoji više potklasa (za mnogo više detalja o supernovama, kao i njihovim ostacima, sa posebnim osvrtom na aktuelna istraživanja, pogledati knjigu Priručnik o supernovama (eng. *Handbook of Supernovae*; Alsabti & Murdin 2017).

Za razliku od fenomena supernove, koji je više vezan za zvezde i može za sobom da ostavi kompaktne objekte – neutronske zvezde i crne rupe, pojam ostatka supernove se vezuje za prostiranje udarnog talasa, formiranog nakon eksplozije SN, kroz međuzvedanu sredinu. Udarni talas nastaje u složenoj interakciji čestica, pre svega protona, sa magnetnim poljem, u uslovima izuzetno retke sredine kada međusobni sudari čestica ne igraju nikakvu ulogu. Eksplozijom supernove u međuzvezdani prostor se oslobodi kinetička energija reda veličine 10^{51} erga, a odbačeni zvezdani materijal se kreće brzinama od 5000 - 20000 km/s. Život, odnosno evolucija OSN zavisi kako od početnih uslova eksplozije, tako i od osobina okolne međuzvezdane materije.

Kada se kroz sredinu prostire (ravni) udarni talas, onda se relacije između parametara sredine (gustine, pritiska, temperature, magnetnog polja) ispred i iza udarnog talasa mogu dobiti iz takozvanih Rankin-Igonioovih jednačina (eng. *Rankine-Hugoniot*). One predstavljaju zakone održanja mase, impulsa, energije i zamrznutosti magnetnog polja u jonizovanoj plazmi. U opštem slučaju, u prisustvu magnetnog polja normalnog na brzinu udarnog talasa i uz gubitke energije zračenjem, a bez prisustva spoljašnjih sila, Rankin-Igonioove relacije se mogu napisati u sledećem obliku (Allen et al. 2008):

$$\rho v = \rho_0 v_0 \quad (4.18)$$

$$\rho v^2 + P + \frac{B^2}{8\pi} = \rho_0 v_0^2 + P_0 + \frac{B_0^2}{8\pi} \quad (4.19)$$

$$\frac{B}{\rho} = \frac{B_0}{\rho_0} \quad (4.20)$$

$$\frac{v^2}{2} + U + \frac{P}{\rho} + \frac{B^2}{4\pi\rho} + \bar{Q}(t) = \frac{v_0^2}{2} + U_0 + \frac{P_0}{\rho_0} + \frac{B_0^2}{4\pi\rho_0} \quad (4.21)$$

Indeks nula se odnosi na sredinu ispred udarnog talasa, a ρ , v , P , U , i B su gustina, brzina, pritisak, gustina unutrašnje energije i magnetno polje sredine normalno na brzinu udarnog talasa, a \bar{Q} predstavlja stopu hlađenja sredine usrednjenu na nekom vremenskom intervalu t .

Da bi se analitički opisala hidrodinamička evolucija ostatka supernove, njegov životni vek se prinudno deli na faze, i to na sledeće četiri:

- fazu slobodnog širenja (eng. *free expansion*);
- adijabatsku, Sedovljevu ili Sedov-Tejlorovu fazu;
- izotermalnu, radijativnu ili fazu grtalice za sneg (eng. *snowplough*);
- fazu rasipanja ili disipacije.

Nakon eksplozije SN, odbačeni zvezdani materijal se kreće gotovo slobodno kroz MZM, konstantnom brzinom tj. bez otpora – $R \propto t$, jer ima daleko veću gustinu od okoline. Naravno, pravo slobodno širenje traje veoma kratko. Slučaj kada postoji značajna količina materijala u neposrednoj okolini nekadašnje zvezde, kao posledica intenzivnog zvezdanog vetra, ili je sredina homogena ali je materijal SN već počeo da usporava, Ševalje je predstavio kao posebnu prelaznu fazu u evoluciji OSN i za nju dao analitičko rešenje (Chevalier 1982).

Kada udarni talas prebriše zapreminu čija masa značajno prevazilazi masu zvezdanog materijala oslobođenog u SN, nastupa sledeća faza u evoluciji OSN. Ova adijabatska faza (u homogenoj MZM) je opisana Sedovljevim analitičkim rešenjem, koje reprodukuje i evoluciju radijusa udarnog talasa, kao i parametre unutrašnjosti OSN (Sedov 1959):

$$R = 1.17(E_0/\rho_0)^{1/5}t^{2/5}, \quad (4.22)$$

gde su E_0 energija eksplozije i ρ_0 gustina okolne MZM. Ovo rešenje je dobijeno metodom sličnosti koje se zasniva na dimenzionoj analizi. U ovoj fazi OSN provede najviše vremena. Procesi koji se dešavaju su gotovo adijabatski, tako da se širenjem OSN u unutrašnjosti formira vrela, veoma razređena sredina ($T \sim 10^6$ K, $n_e \sim 10^{-3}$ cm $^{-3}$). Ako pretpostavimo da za sredinu kroz koju se prostire udarni talas važi jednačina stanja idealnog gasa $P/\rho = kT/\mu m_H$, bez prisustva magnetnog polja, i kada su zanemarivi gubici energije, iz Rankih-Igonioovih jednačina možemo dobiti sledeće relacije:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{(\gamma + 1)M_0^2}{2 + (\gamma - 1)M_0^2}, \quad (4.23)$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\gamma + 1 + 2\gamma(M_0^2 - 1)}{\gamma + 1}, \quad (4.24)$$

gde je $M_0 = \frac{v_s}{c_s}$ Mahov broj, v_s brzina prostiranja udarnog talasa, a $c_s = \sqrt{\gamma \frac{P_0}{\rho_0}}$ adijabatska brzina zvuka u sredini ispred udarnog talasa. Uz pretpostavku da je $\gamma = 5/3$ za jednoatomski gas, kao i da je u slučaju jakog udarnog talasa $M_0 \gg 1$, dobija se da je skok gustine u adijabatskoj fazi evolucije OSN $\rho/\rho_0 = 4$, a da je temperatura iza udarnog talasa

$$T = \frac{3}{16k} \mu m_H v_s^2. \quad (4.25)$$

Kada gubici na zračenje postanu toliki da već značajno utiču na dinamiku OSN, tada govorimo o radijativnoj ili izotermalnoj fazi. Iz pojednostavljenih Rankin-Igonioovih jednačina (bez prisustva magnetnog polja, za jednoatomski idealan gas), i uz pretpostavku da se temperature na nekoj udaljenosti iza i ispred udarnog talasa mogu izjednačiti, dobija se da je skok gustine kod izotermalnog udarnog talasa $\rho/\rho_0 = M_0'^2$, gde je $M_0' = \frac{v_s}{c_s'}$ izotermalni Mahov broj, a $c_s' = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}}$ izotermalna brzina zvuka u sredini ispred udarnog talasa. Iz prethodnih jednačina se vidi da skok gustine u izotermalnoj fazi može biti daleko veći nego u adijabatskoj fazi. Budući da je jedna od tema ove disertacije optičko zračenje ostataka supernovih, u narednom poglavlju ćemo posebnu pažnju posvetiti radijativnoj fazi evolucije OSN.

4.2 Radijativni udarni talas kod ostataka supernovih

Za ovu fazu evolucije OSN ne postoji egzaktno analitičko rešenje, ali postoji nekoliko aproksimativnih rešenja. Najčešći pristup za dobijanje analitičkog rešenja u radijativnoj fazi je uvođenje modela „tanke ljuske” (Ostriker & McKee 1988; Bisnovatyi-Kogan & Silich 1995). Ovaj pristup pretpostavlja da je celokupna masa prebrisanog materijala kao i impuls koncentrisana u tankoj ljusci, odmah iza udarnog talasa, dok je unutrašnjost ispunjena vrelin i veoma razređenim gasom, čija je masa zanemarljiva, ali u kome je takoreći sva unutrašnja energija OSN. Brojni numerički proračuni radijativne evolucije OSN pokazuju da je ova pretpostavka u značajnoj meri verodostojna (npr. Straka 1974; Falle 1975; Cioffi, McKee & Bertschinger 1988;

Blondin et al. 1998).

Ort je prvi izveo rešenje za radijativno širenje OSN pri pretpostavci tanke ljuske (Oort 1951). On je pretpostavio da za ljusku važi zakon održanja impulsa, i dobio je da radijus OSN evoluira kao $R \propto t^{1/4}$. Ovo rešenje, poznato i kao faza održanja impulsa (eng. *momentum conserving snowplough*), pretpostavlja da je hlađenje efikasno svuda, kako u ljusci, tako i u unutrašnjosti, i da je zbog toga i pritisak u unutrašnjosti zanemariv. Međutim, numerički modeli pokazuju da gas u unutrašnjosti ostaje veoma razređen i da je njegovo karakteristično vreme hlađenja daleko veće od starosti OSN (npr Chevalier 1974). Ovo je navelo Mekija i Ostrajkera da uvedu pojam „grtalice za sneg” (eng. *pressure driven snowplough*), model u kome visok pritisak u unutrašnjosti gura tanku, gustu ljusku stvorenu iza udarnog talasa (McKee & Ostriker 1977). Tada se dinamička evolucija može opisati zakonom $R \propto t^{2/7}$, za adijabatski indeks $\gamma = 5/3$. Ostrajker i Meki su 1988. godine za izotermalnu tanku ljusku iza udarnog talasa, koja se širi daleko od centra eksplozije, izveli opšte rešenje metodom sličnosti (Ostriker & McKee 1988). Za uniformnu MZM¹¹ gustine ρ_0 , adijabatskog indeksa γ , i početne energije eksplozije E_0 , radijus udarnog talasa je

$$R(t) = R_c \left(\frac{\xi E_0}{\rho_0 R_c^5} \right)^{\eta/2} t^\eta, \quad (4.26)$$

gde je R_c karakteristični radijus na kome je ostatak izračio polovinu početne energije eksplozije E_0 . Bezdimenzioni koeficijenti η i ξ daju nam dve grane rešenja, jednu za fazu „grtalice za sneg”, kada pritisak vrele unutrašnjosti gura ljusku

$$\eta = \frac{2}{2 + 3\gamma}; \quad \xi = \frac{3(\gamma - 1)(2 + 3\gamma)^2}{8\pi}, \quad (4.27)$$

a drugu za fazu održanja impulsa,

$$\eta = \frac{1}{4}; \quad \xi = \frac{24}{\pi}, \quad (4.28)$$

kada je unutrašnjost hladna i ljuska se kreće po inerciji, odnosno, tada dobijamo već

¹¹U radu se diskutuje i slučaj kada gustina okolne MZM opada po stepenom zakonu $\rho(r) \propto r^{-\omega}$, kao i mnogi drugi slučajevi udarnih talasa koji se sreću u astrofizici.

pomenuto Ortovo rešenje.

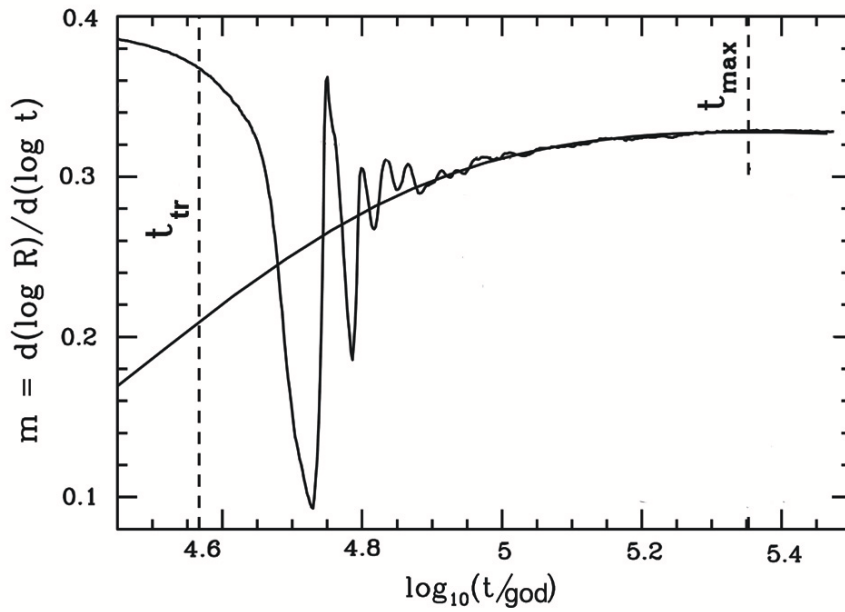
Eksponent η tj. m u stepenom zakonu za širenje udarnog talasa $R(t) \propto t^m$ naziva se parametrom usporenja¹². Numerički modeli za parametar usporenja daju asimptotske vrednosti od 0.31 (Chevalier 1974), do 0.33 (Blondin et al. 1998). Ove vrednosti se značajno razlikuju od prethodno pomenutih analitičkih vrednosti: 0.25, koju je dobio Ort, i 0.286 (2/7), koju su dobili Meki i Ostrajker (Oort 1951; McKee & Ostriker 1977). Brojni autori su diskutovali uzrok ovog neslaganja; da li na to ima uticaja povratni udarni talas (koji nastaje u fazi slobodnog širenja) ili nešto drugo, ali Bandiera i Petruk su pokazali da je osnovni uzrok neslaganja između numeričkih i analitičkih rezultata vreme do koga se rade numerički proračuni (Bandiera & Petruk 2004). Vreme koje je potrebno da parametri dostignu svoje analitičke asimptote je dugo u odnosu na starost OSN na prelazu iz Sedovljeve u radijativnu fazu (što je 2.9×10^4 godina, za gustinu okolne MZM od 1 cm^{-3}). Blondin sa saradnicima je iz svojih numeričkih proračuna našao da se prelaz iz adijabatske u radijativnu fazu dešava u trenutku

$$t_{\text{tr}}[\text{god}] = 2.9 \times 10^4 E_{51}^{4/17} n_0^{-9/17}, \quad (4.29)$$

a da se parametar usporenja ustaljuje na $m \sim 0.33$ nakon $(2-3)t_{\text{tr}}$ (videti sliku 4.2). Pretpostavlja se da bi u slučaju da su Blondin i saradnici pustili svoje simulacije još duže, parametar usporenja m ipak došao na vrednost od 2/7 (Blondin et al. 1998). Iako su Bandiera i Petruk, pod pretpostavkom modela tanke ljuske, izveli korektno analitičko rešenje za radijativni udarni talas, čija se asimptotska vrednost poklapa sa modelom „grtalice za sneg”, može biti da OSN do ove faze dolazi veoma kasno, pred samu disipaciju, ili da uopste i ne dolazi do nje (Bandiera & Petruk 2004). Umesto toga, prelaz iz Sedovljeve u radijativnu fazu traje dugo, gotovo koliko i sama Sedovljeva faza (Petruk 2006).

Udarni talasi koji gube energiju zračenjem se mogu naći u različitim astrofizičkim objektima (npr. u relativističkim mlazevima kod gama bleskova), ali su najčešće pominjani udarni talasi kod ostataka supernovih. Kod OSN udarni talasi gube energiju zračenjem (emitovanjem fotona), ali i na ubrzavanje kosmičkih zraka. Kao što je već pomenuto, gubici energije kod materije preko koje je prešao udarni talas imaju za

¹² $m = d \log R / d \log t$



Slika 4.4: Poređenje evolucije parametra usporenja m iz analitičkog i numeričkog rešenja. Glatka funkcija je analitičko rešenje Bandiere i Petruka, dok se na drugoj funkciji iz numeričkog rešenja datom u radu Blondin et al. (1998) vide pominjane nestabilnosti do uspostavljanja ravnoteže pritiska (eng. *pressure-driven thin shell overstabilities*, Vishniac 1983). Takođe, na slici je obeleženo vreme prelaska iz Sedovljeve u radijativnu fazu t_{tr} , kao i vreme do kojeg je puštan numerički kod, t_{max} . (Preuzeto iz Bandiera & Petruk 2004.)

posledicu stvaranje tanke ljuske velike gustine. Gusta i tanka ljuska u radijativnoj fazi evolucije OSN je podložna raznim nestabilnostima fizičke prirode, od kojih su najznačajnije Rejli-Tejlorove (eng. *Rayleigh-Taylor*) i Rihtmajer-Meškovljeve (eng. *Richtmyer-Meshkov*) nestabilnosti (Richtmyer 1960; Meshkov 1969). Takođe, na to se dodaju i numerički artefakti, koji se tokom numeričkih simulacija OSN mogu značajno razviti. Tako je primećeno da uz pojedine fizičke polazne pretpostavke, u pravougaonoj geometriji, nestabilnosti dovode do progresivne deformacije ljuske, fragmentacijom i krivljenjem, dok se kod polarne geometrije to ne dešava (Badjin et al. 2016). Do nestabilnosti dolazi prilikom prelaska iz adijabatske u radijativnu fazu, kada zbog pada temperature iza udarnog talasa hlađenje postaje efikasnije¹³ i ubrzava dalje smanjivanje temperature, pa je potrebno vremena da se uspostavi ravnoteža pritiska. U simulacijama se vidi skok pritiska, između vodećeg udarnog talasa i vrelog gasa u unutrašnjosti (npr Straka 1974, Badjin et al. 2016). To za posledicu ima stvaranje još jednog udarnog talasa – terminacionog ili drugog povratnog. Tako tanka ljuska u izotermalnoj fazi ne biva gurana samo visokim pritiskom iz unutrašnjosti, već još jednim udarnim talasom. Taj, terminacioni udarni talas, nastaje zbog toga što se vreli gas iz unutrašnjosti zaustavlja na ljusci, gde se hladi i nagomilava. Dokle god se unutrašnjost ne ohladi dovoljno, ljuska ce postojati. Modelovanjem radijativnog udarnog talasa se dobijaju veoma kompleksni profili pritiska i gustine sredine, pa se za više detalja može pogledati rad Bađina sa saradnicima (Badjin et al. 2016).

4.2.1 Funkcija hlađenja

Hlađenje međuzvezdane materije se dešava tako što se atomi i joni (kao i molekuli, gde ih ima) sudarno ekscituju, a potom radijativno deekscituju, tako da deo kinetičke energije odlazi na zračenje. Takođe, smanjenju ukupne energije gasa doprinosi i sudarna jonizacija, kao i emisija fotona u kontinuumu, dok rekombinacija spada u procese koji povećavaju ukupnu energiju sistema (Dopita & Sutherland 2003). U slučaju kada je plazma dovoljno razređena, sve pomenute procese možemo posmatrati kao interakcije između jona (atoma) i elektrona, pa se gubitak energije,

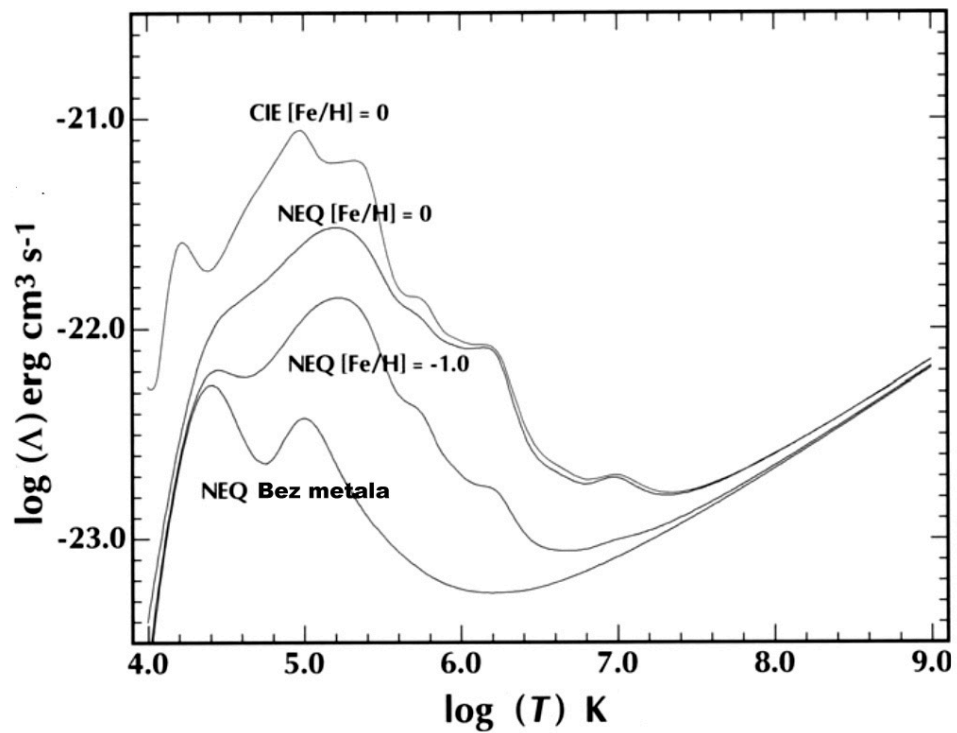
¹³Videti oblik funkcije hlađenja u narednom odeljku.

po jedinici zapremine i vremena u sistemu može izraziti kao

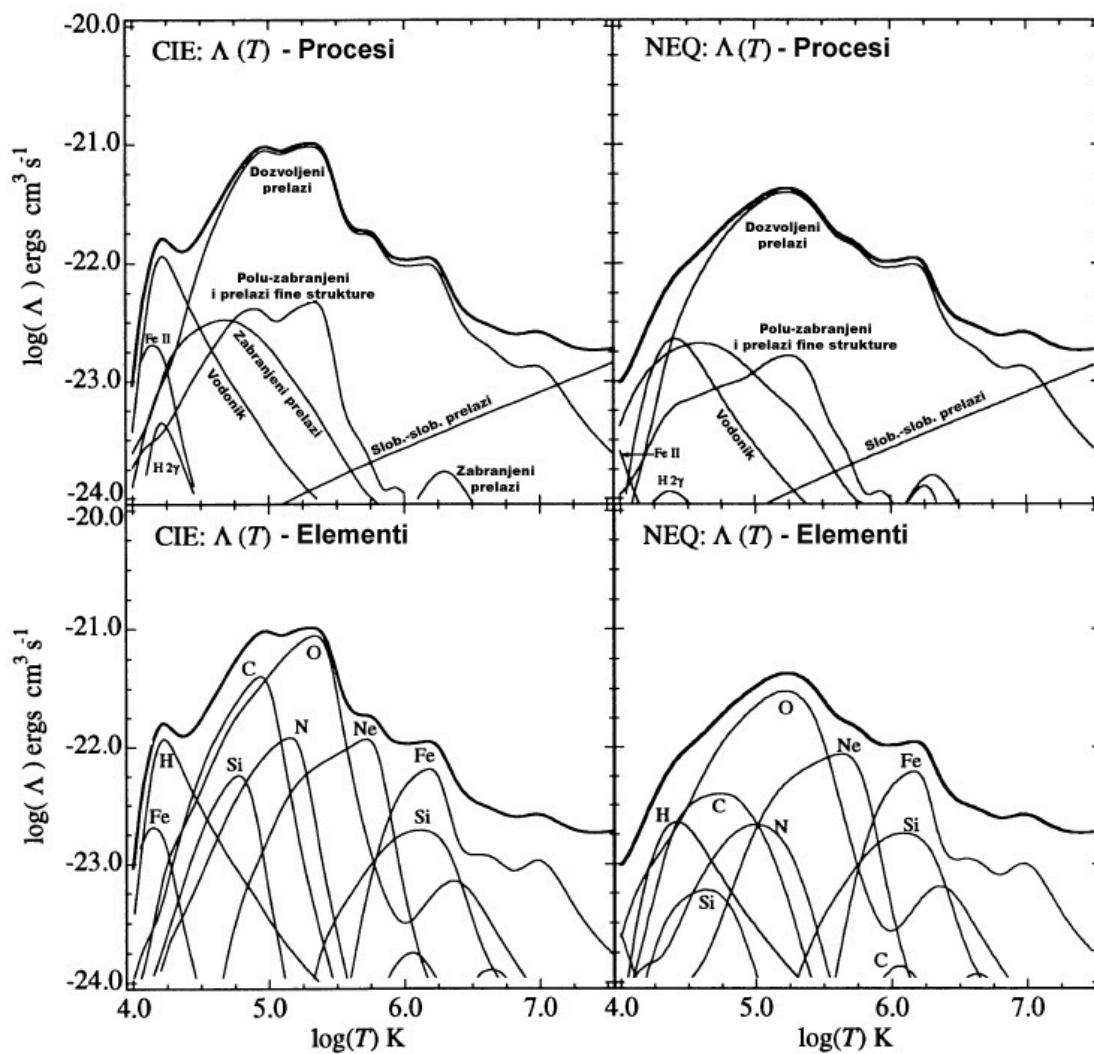
$$\dot{Q}(n_e, T_e, Z_A) = n_e n \Lambda(T_e, Z_A), \quad (4.30)$$

gde $\Lambda(T_e, Z_A)$ predstavlja funkciju hlađenja sistema, koja zavisi od temperature i zastupljenosti elemenata u gasu. Na slici 4.3 je data funkcija hlađenja pri pretpostavci sudarno-jonizacione ravnoteže (eng. *collisional ionization equilibrium* - CIE), za različite metaličnosti. Za slučaj kada nema prisustva metala, izražena su dva maksimuma, za dozvoljene prelaze vodonika i helijuma. Bohringer i Hensler su pokazali da je sve ispod 0.01 Solarne metaličnosti isto što i metaličnost $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$ (Bohringer & Hensler 1989), što je prilično bitan rezultat za zvezde Populacije II, kao i galaksije na visokom crvenom pomaku. Na slici 4.4, prikazan je još opštiji, neravnotežni slučaj (eng. *nonequilibrium* - NEQ), koji imamo u plazmama preko kojih je prešao udarni talas brzine veće od 500 km/s (Ghavamian, Laming & Rakowski 2007). Na slici 4.4 se vidi doprinos različitih procesa, kao i elemenata u hlađenju gasa. Sa slike vidimo da pretpostavka sudarno-jonizacione ravnoteže predstavlja gornju granicu za stopu hlađenju plazme i da je u neravnotežnom slučaju plazmi potrebno više vremena da se ohladi.

Iz oblika funkcije hlađenja se vidi izraziti skok pri temperaturi od oko 10^4 K, koji je posledica hlađenja linijom vodonika $\text{Ly}\alpha$. Na nižim temperaturama preovlađujuće je hlađenje linijama C II, O I, Si II, S II i Fe II, dok su za hlađenje na višim temperaturama zaslužne razne linije viših energija pobuđivanja i zakočno zračenje u kontinuumu. Svaka funkcija hlađenja ima svoj maksimum na $10^4 - 10^6$ K, kada se i dešava značajno hlađenje u ostacima supernovih. Kod OSN, prvih nekoliko hiljada godina hlađenje je manje efikasno, jer je karakteristično vreme hlađenja značajno veće od „dinamičkog” vremena $t_d = R_s/v_s$. Međutim, kako temperatura opada ispod 10^6 K, skraćuje se karakteristično vreme hlađenja t_{cool} , do trenutka kada postaje $t_{\text{cool}} \ll t_d$, tj. kada udarni talas više nije adijabatski.



Slika 4.5: Funkcija hlađenja za različite metaličnosti gasa, i u slučaju sudarno-jonizacione ravnoteže (CIE) i u bez pretpostavke bilo koje ravnoteže (NEQ). (Preuzeto iz Dopita & Sutherland 2003.)



Slika 4.6: Dominantni procesi i elementi u hlađenju gasa, u slučaju sudarno-jonizacione ravnoteže (CIE) i u bez pretpostavke bilo koje ravnoteže (NEQ). (Prezeto iz Sutherland & Dopita 1993.)

4.2.2 Modeli zračenja radijativnog udarnog talasa

Modelovanje astrofizičkih plazmi i njihovog zračenja se počelo uspešno razvijati sedamdesetih godina prošlog veka (Cox 1972; Dopita 1977; Raymond 1979). Raymond je 1979. godine modelovao plan-paralelni udarni talas, brzine između 50 i 200 km/s (Raymond 1979). U radu je dao intenzitete emisionih UV i optičkih linija, kao i raspodelu jonizacionih stanja duž profila udarnog talasa. Sporije udarne talase, koji se sreću u veoma starim OSN, posmatranim u našoj Galaksiji, je razmatrao Dopita (Dopita 1977). Kada imamo brz udarni talas, on je u stanju i da fotojonizuje sredinu preko koje još nije prešao. Stacionarni modeli fotojonizujućih udarnih talasa prvobitno su razmatrani u radu Saterlenda sa saradnicima i Dopite i Saterlenda (Sutherland, Bicknell & Dopita et al. 1993; Dopita & Sutherland 1995, 1996). Najskorije i najpotpunije razmatranje radijativnog udarnog talasa prikazano je u radu Alena sa saradnicima, koji je nadogradnja svih prethodnih modela (Allen et al. 2008). Tu se razmatraju brzi udarni talasi, u opsegu brzina od 100 - 1000 km/s, za pet različitih zastupljenosti elemenata međuzvezdane materije, čija je gustina 1 čestica/cm³, i to sve uz postojanje okolnog magnetnog polja. Svaki model uključuje postojanje radijativnog udarnog talasa, kao i fotojonizovanog prekursora, koji nastaje od jakog UV, kao i mekog X-zračenja iz udarnog talasa. Ovo jonizujuće zračenje potiče najvećim delom iz slobodno-slobodnih prelaza u kontinuumu i rezonantnih linija raznih elemenata, neutralnih i jonizovanih. Za svaki model su date struktura jonizacije, linijske gustine, kao i fluks zračenja udarnog talasa i njegovog prekursora. Takođe su date i jačine emisionih linija koje nastaju. Ova veoma značajna biblioteka sa parametrima u radijativnom udarnom talasu se može koristiti za dijagnostiku mehanizma pobuđivanja emisionih linija u brojnim astrofizičkim plazmama, a pre svega u aktivnim i zvezdorodnim galaksijama¹⁴.

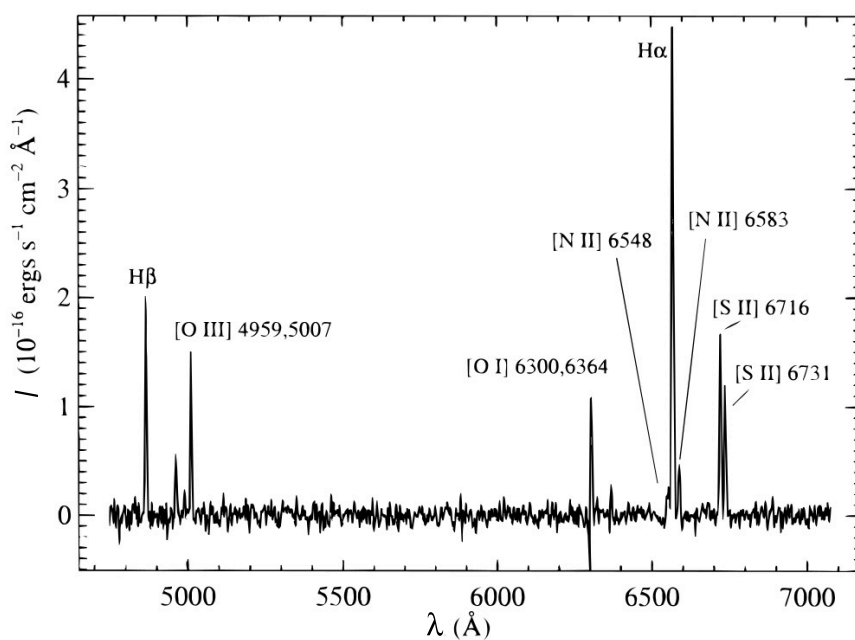
¹⁴Jedan od primera primene ove biblioteke je i izrada poznatog BPT (skraćeno od Baldwin, Phillips i Terlevich) dijagrama za dijagnostiku tipa aktivnog galaktičkog jezgra i njihovog razdvajanja od H II regiona (Baldwin, Phillips & Terlevich 1981).

4.2.3 Primena modela radijativnih udarnih talasa na detekciju optičkih ostataka supernovih

Na osnovu tabelarno datih intenziteta emisionih linija u radu Alena sa saradnicima, za radijativni udarni talas koji se prostire kroz MZM sa zastupljenošću elemenata kao na Suncu i koncentracijom čestica $n = 1 \text{ cm}^{-3}$, dobija se da je minimalni odnos linija $[\text{S II}]/\text{H}\alpha = 0.42$, za brzinu udarnog talasa od 200 km/s (Allen et al. 2008). U ovom izračunavanju uključeno je i zračenje prekursora. Za još manju brzinu udarnog talasa od $v_s = 100 \text{ km/s}$, kada je zračenje prekursora zanemarivo, dobija se da je odnos $[\text{S II}]/\text{H}\alpha = 0.45$. Ovo je veoma važan rezultat, jer je on potvrda uslova za odnos intenziteta emisionih linija $[\text{S II}]/\text{H}\alpha > 0.4$ koji je u širokoj upotrebi za detekciju optičkih ostataka supernovih, a koji je usvojen prevashodno na osnovu posmatračkog iskustva (o ovom kriterijumu videti više u narednoj glavi). Ono što je takođe značajno jeste da se iz tabele sa intenzitetima emisionih linija vidi je da je jačina linije $[\text{N II}] \lambda 658.3 \text{ nm}$, koja se nalazi odmah do linije $\text{H}\alpha$, izuzetno velika pri većim brzinama udarnog talasa. Linija $[\text{N II}]$ je upola slabija od linije $\text{H}\alpha$ za $v_s < 200 \text{ km/s}$, dok je za brzine veće od ove, jaka isto koliko i linija $\text{H}\alpha$. Ovo naglašavamo, jer se na taj način može desiti da prilikom optičke detekcije OSN, kada se upotrebljavaju filteri koju obuhvataju linije $[\text{N II}]$, zbog potcenjene jačine ovih linija, dobijamo odnose $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ koji su manji od stvarnih. Tako se može desiti da brojni ostaci supernovih promaknu kriterijumu $[\text{S II}]/\text{H}\alpha > 0.4$. Ono što treba imati na umu je i uticaj zastupljenosti azota u regionu u kome se nalazi potencijalni OSN na intenzitet $[\text{N II}]$ linija, jer u zavisnosti od toga da li smo zastupljenost precenili ili potcenili, isto će biti i sa odnosom $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$.

4.2.4 Optičko zračenje ostataka supernovih u radijativnoj fazi

Spektar zračenja OSN zavisi od fizičke i jonizacione strukture udarnog talasa, koji su primarno određeni metaličnošću okolne MZM, kao i brzinom udarnog talasa i magnetnim poljem. Kako sredine preko kojih je prešao udarni talas mogu imati

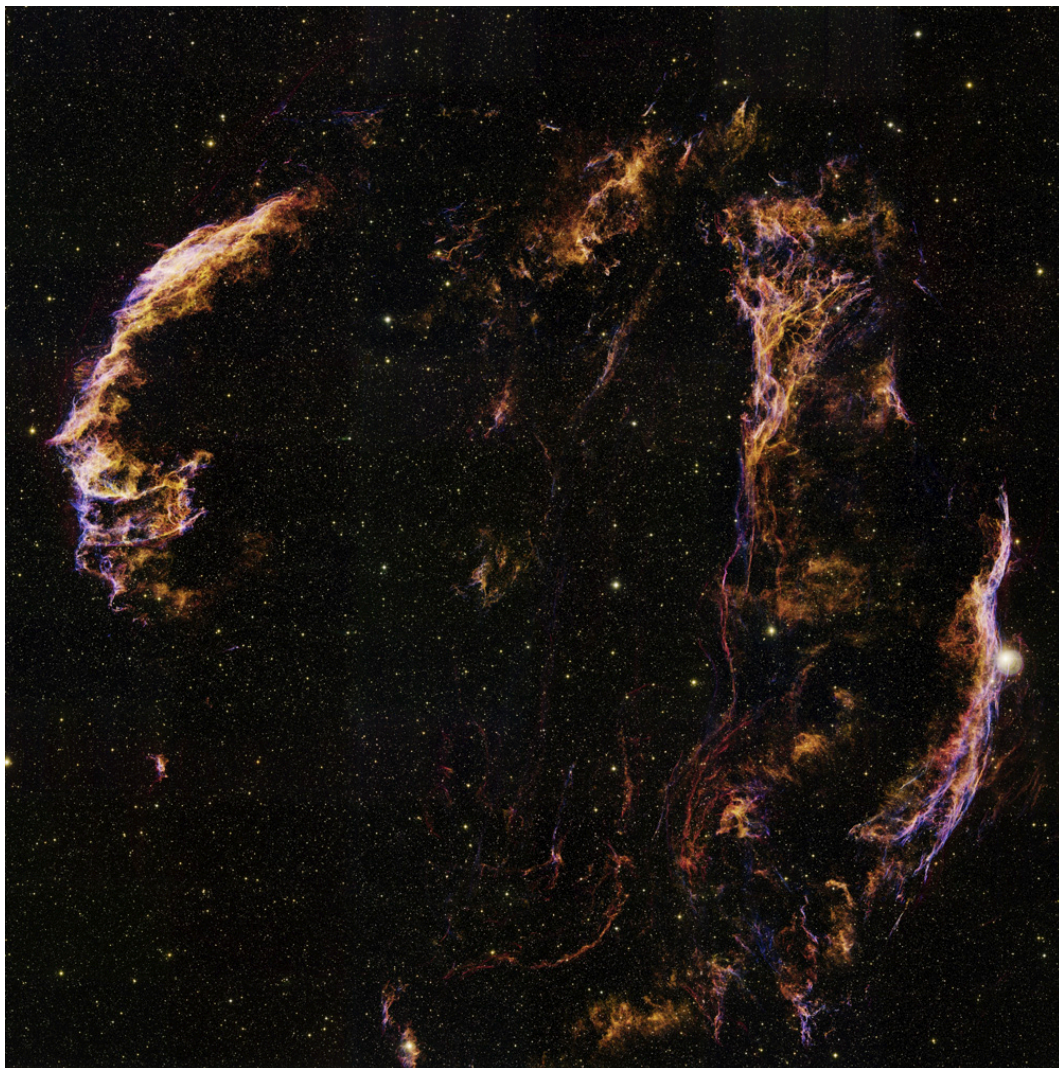


Slika 4.7: Primer spektra ostatka supernove u galaksiji NGC 5585. (Preuzeto iz Matonick & Fesen 1997.)

veliki opseg temperatura gasa i jonizacionih stanja elemenata, kao posledicu imamo veoma bogati spektar sudarno pobuđenih UV i optičkih emisijih linija sumpora, azota, kiseonika i naravno, vodonika. Optički spektar karakterišu linije zabranjenih prelaza koji su niskih energija pobuđivanja i efikasni u hlađenju. Do ekscitacije dolazi sudarima sa elektronima, u delimično jonizovanoj plazmi, neposredno iza udarnog talasa. Kod većih koncentracija MZM, zona iza udarnog talasa postaje toliko gusta, da postaju bitni značajne i sudarne deekscitacije zabranjenih linija. Najintenzivnije među emisijim linijama u spektrima OSN su: [O II] λ 372.7, H β λ 486.1, [O III] λ 436.3, λ 495.9, λ 500.7, [O I] λ 630.0, λ 636.4, N II λ 654.8, H α λ 656.3, N II λ 658.3, [S II] λ 671.7, λ 673.1 (videti primer jednog spektra OSN na slici 4.5). Karakteristično u spektrima OSN jeste da je linija [O II] λ 372.7 nm jača od linije H β više nego deset puta, dok su dubleti linija [O I] λ 630.0, λ 636.3 nm i [S II] λ 671.7, λ 673.1 nm otprilike podjednako jaki kao linija H α . Ovi odnosi linija nam omogućavaju da razdvojimo OSN od drugih emisijih maglina, koje su fotojonizovane. Više o tome u narednom poglavlju.

Najpoznatiji optički OSN u našoj galaksiji su samo delimično radijativni. To je posledica toga što se OSN uglavnom ne kreće kroz homogenu MZM, tako da svi delovi OSN nisu u identičnoj fazi evolucije. OSN Petlja u Labudu (eng. *Cygnus Loop*, slika 4.6), čija je pretpostavljena starost oko 5000 godina, ima delove svoje ljuske koji intenzivno zrače u optičkom delu spektra, tj. u emisionim linijama vodonika, sumpora i kiseonika (Medina et al. 2014). To se veoma dobro uklapa sa teorijskim predviđanjima za zračenje radijativnih udarnih talasa koji su već značajno usporili i koji su stariji od Petlje u Labudu. Kod ostataka koji se kreću kroz nehomogenu MZM (naročito kod supernovih tipa II), kada udarni talas pređe preko zgušnjavanja i/ili oblaka u MZM, oko njih se stvaraju radijativni segmenti udarnog talasa. Kako je vreme hlađenja obrnuto proporcionalno gustini, tamo gde udarni talas naiđe na zgušnjavanja, ranije će krenuti efikasno hlađenje, a samim tim i zračenje u optičkom i UV delu spektra. Zato treba da se očekuje da se optički sjajni OSN nalaze u sredinama veće gustine i da su samim tim kompaktniji.

Optičko zračenje OSN se vidi i u ranijim evolutivnim fazama, kada brz udarni talas pređe preko delimično neutralne plazme. Udarne talase koji se nalaze u OSN sa jakim Balmerovim linijama (eng. *Balmer-dominated shocks*), brzina većim od 200 km/s, karakterišu linije $H\alpha$ koje imaju dve komponente, kao i odsustvo zabranjenih linija metala niskih stanja jonizacije u spektru (Nikolić et al. 2014). Ovakvo optičko zračenje udarnih talasa je detektovano kod istorijskih OSN - Tiho, Kepler i SN1006. Kao što je rečeno, linije vodonika imaju dve komponente – usku (~ 10 km/s) i široku (~ 1000 km/s). Uska komponenta nastaje kada hladni neutralni atomi iz okolne MZM ispred udarnog talasa bivaju sudarno ekscitovani protonima i elektronima koji beže ispred udarnog talasa. Široka komponenta nastaje iz neutralnih atoma u regionu iza udarnog talasa, koji su pobuđeni transferom naelektrisanja sa jona iza udarnog talasa. Stoga, dvokomponentna linija $H\alpha$ u sebi sadrži informaciju o temperaturi ispred i iza udarnog talasa, kao i o odnosu temperatura jona i elektrona iza udarnog talasa, ali i o energijama čestica kosmičkog zračenja u prekursoru (za više detalja videti radove Gavamiana sa saradnicima i Rejmonda sa saradnicima (Ghavamian et al. 2001; Raymond et al. 2010)).



Slika 4.8: Slika OSN Petlje u Labudu. Boje na slici: plava - [O III] filter; zelena - [S II] filter i narandžasta - H α filter. (Autori slike: T.A. Rector i R. Cool - NOAO.)

5. Optička detekcija ostataka supernovih

5.1 Uvodne napomene i hronološki pregled

Pioniri optičke potrage za vangalaktičkim ostacima supernovih bili su Metjuson i Klark 1973. godine (Mathewson & Clarke 1973a). Pre toga, Metjuson i Hili su, koristeći kombinaciju radio i optičkih posmatranja, iz uzorka emisionih maglina u Velikom Magelanovom oblaku izdvojili tri potencijalna OSN (Mathewson & Healey 1964). Oni su koristili činjenicu da optički spektri OSN imaju povišen intenzitet linija sumpora [S II] $\lambda 671.7$ nm, $\lambda 673.1$ nm u odnosu na vodonikovu liniju $H\alpha$ $\lambda 656.3$ nm, kao i da emituju u radio-području. Odnosi ovih emisionih linija se koriste kako bi se razdvojili OSN, koji su pobuđeni udarnim talasom i kod kojih je ovaj odnos tipično > 0.4 , od H II regiona, koji su magline pobuđene fotojonizacijom, i kod kojih je $[S II]/H\alpha < 0.4$, ali najčešće < 0.2 . Način ekscitacije magline je upravo uzrok razlike odnosa $[S II]/H\alpha$. Kod OSN, sudarna ekscitacija je indukovana prolaskom udarnog talasa, dok kod H II regiona imamo fotojonizaciju kao posledicu zračenja centralne zvezde. To prouzrokuje da je kod H II regiona sumpor uglavnom u dva puta jonizovanom stanju S^{++} , što ima za posledicu niske odnose $[S II]/H\alpha$. Kod OSN, kada prođe dovoljno vremena od prolaska udarnog talasa, tako da se materijal iza udarnog talasa već dovoljno ohladio (kada je OSN u radijativnoj fazi), tada sumpor postoji u raznim stanjima jonizacija, pa i u S^+ . Elektronska temperatura od oko 10 000 K u S^+ rekombinacionoj zoni iza udarnog talasa koja je van termodinamičke ravnoteže, zajedno sa velikim preseccima za sudarnu ekscitaciju ovih [S II] prelaza, daje dosta jače linije [S II] u OSN nego što je slučaj u H II regionima ili u planetarnim

maglinama. U ovoj fazi evolucije, kada je OSN najsjajniji u optičkom delu spektra, očekujemo da imamo povišene odnose linija $[S II]/H\alpha$. To je i potvrđeno numeričkim modelima radijativnog udarnog talasa, gde se iz rada Alena sa saradnicima, pominjanog u odeljku 4.2.2, vidi da je u radijativnim udarnim talasima $[S II]/H\alpha > 0.42$ (Allen et al. 2008).

Odnos $[S II]/H\alpha$ se pokazao kao vrlo jednostavan metod za optičku detekciju ostataka i korišćen je u brojnim detekcijama galaktičkih i vangalaktičkih OSN. Međutim, pored svojih prednosti jednostavne klasifikacije objekata, prilikom korišćenja ovog metoda treba biti oprezan. Pokazuje se da se u nekim slučajevima gornja granica odnosa $[S II]/H\alpha$ za H II regione preklapa sa donjom granicom za OSN. Zbog toga je u graničnim slučajevima potrebno i spektroskopski potvrditi da li su prisutne i ostale emisione linije karakteristične za spektre OSN i proveriti da li postoji detekcija objekta i u nekom drugom delu spektra – radio ili X-području.

Prilikom detekcije optičkih OSN izvan naše galaksije, još jedan od faktora koji nam može pomoći jesu dimenzije objekata. Dimenzije OSN mogu biti čak do 100 pc, a srednja vrednost koja se sreće u literaturi je oko 40 pc. Za objekte većih dimenzija može se posumnjati da su supermehuri. Supermehuri takođe imaju povišene odnose $[S II]/H\alpha$, ali za razliku od OSN, u svojoj unutrašnjosti imaju brojne mlade sjajne zvezde. Kod bliskih galaksija, gde je moguće detektovati ove zvezde, jasno možemo odvojiti ovu populaciju objekata od OSN.

Tačna donja granica za odnos $[S II]/H\alpha$ kod OSN nije strogo utvrđena. Najčešće upotrebljavani kriterijum za optičku detekciju je $[S II]/H\alpha > 0.4$. Kako ranije pomenute linije $[N II]$ mogu biti jačine čak i do 50% intenziteta linije $H\alpha$, neki autori koriste malo slabiji uslov za detekciju OSN, da je $[S II]/H\alpha > 0.3$ (Dopita et al. 2010a; Leonidaki, Boumis & Zezas 2013), ako se koriste filteri koji obuhvataju emisiju $[N II]$ i ne vrši korekcija.

Za detekciju OSN u optičkom delu spektra koriste se uskopojasni $[S II]$ i $H\alpha$ filteri, kao i dodatni filter koji se koristi za eliminisanje zračenja u neprekidnom delu spektra u blizini ovih linija. Savremeni instrumenti, kako teleskopi, tako i CCD kamere, su značajno unapredili mogućnost za ovakvu vrstu detekcije u poslednjih 15-20 godina. Zbog toga je primetan značajan porast u broju optički detektovanih OSN u ovom

periodu. Poslednjih godina, postignut je veliki napredak u pravljenju kompletnijih uzoraka OSN za neke od bliskih galaksija, kao što su M31, M33 i M83. U ranom periodu detekcije optičkih OSN korišćene su fotografske ploče, koje imaju značajno manju osetljivost i veoma su nepogodne za dalju obradu. Najznačajniji doprinos broju detektovanih OSN u ovom periodu dali su Dodoriko, Dopita i Benvenuti, kao i Metjuson sa saradnicima (D'Odorico, Dopita & Benvenuti 1980; Mathewson et al. 1983, 1984, 1985). Metjusonova grupa je bila uspešna u detekciji OSN u Magelanovim oblacima, dok je Dodoriko sa saradnicima posmatrao osam galaksija: NGC 6822, IC1613, M31, M33, NGC 253, NGC 300, NGC 2403 i IC342. Obe grupe su radile samo na detekciji ostataka supernovih, bez merenja flukseva ili prečnika.

Sledeći značajan doprinos porastu broja optičkih OSN dala su dva koautorska rada, Blera i Longa, i Matonika i Fesena (Blair & Long 1997; Matonick & Fesen 1997). Prvi autori su posmatrali dve galaksije u grupi Skulptor, NGC 300 i NGC 7793, dok su Matonik i Fesen posmatrali pet obližnjih spiralnih galaksija - NGC 5204, NGC 5585, NGC 6946, M81 i M101. Takođe, iste godine, Matonik sa saradnicima je objavio posmatranja spiralne galaksije NGC 2403 (Matonick et al. 1997).

Matonik i Fesen su koristili teleskop od 1.3 metra na opservatoriji Mičigen-Darmut-MIT (eng. *Michigan-Dartmouth-MIT*) (Matonick & Fesen 1997). Posmatračka procedura se sastojala od pravljenja po tri snimka kroz svaki od tri filtera, sa ekspozicijama od 300 do 1200 sekundi. Takođe, imali su i spektroskopska posmatranja, koja su koristili kako za potvrdu detekcije OSN, tako i za određivanje kontaminacije $H\alpha$ fluksa linijama [N II].

Bler i Long su posmatrali 2.5-metarskim teleskopom na opservatoriji Las Kampanas (Blair & Long 1997). Oni su postizali ekspozicije od čak 1500 sekundi kroz $H\alpha$ filter (mada treba napomenuti da su njihovi filteri bili sa nešto slabijom maksimalnom propusnošću od 50 – 60 %), dok su ekspozicije kroz [S II] filter bile oko dva puta duže, da bi se postigao uporedivi odnos signala i šuma kod objekata koji imaju odnos [S II]/ $H\alpha$ oko ~ 0.5 . Primenili su korekciju od 25% da bi uklonili [N II] kontaminaciju sa $H\alpha$ slika.

Nedavno, Leonidaki sa saradnicima je napravila veliki pomak u povećanju broja poznatih optičkih OSN u galaksijama iz bliskog okruženja (Leonidaki et al. 2013).

U šest galaksija (NGC 2403, NGC 3077, NGC 4214, NGC 4395, NGC 4449, NGC 5204) detektovano je više od 400 ostataka supernovih. Prethodno je ista grupa autora sprovedla analizu ovih galaksija i u X-području (Leonidaki, Zezas & Boumis 2010). Optička posmatranja realizovana su 1.3-metarskim teleskopom na opservatoriji Skinakas na Kritu. Koristili su ekspozicije od 3600, odnosno 7200 sekundi za $H\alpha$ i $[S II]$ filtere, respektivno. Da bi odredili $H\alpha$ flukseve OSN, za $[N II]$ kontaminaciju su iskoristili odnose $[N II](\lambda 654.8, \lambda 658.4)/H\alpha$ iz spektroskopskih posmatranja galaksija objavljenih u radu Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008).

Takođe, tokom poslednjih desetak godina nekoliko studija je koristilo veoma velike teleskope u potrazi za optičkim ostacima supernovih. Rezultat toga je nekoliko veoma dobrih uzoraka OSN u bliskim galaksijama, kao što su M31, M33 i M83. Li i Li su iskoristili Pregled Lokalne grupe galaksija (eng. *Local Group Galaxy Survey - LGGS*)¹⁵ četvorometarskim teleskopom na Američkoj Nacionalnoj Opservatoriji Kit Pik (KPNO, eng. *Kitt Peak National Observatory*) (Lee & Lee 2014a, 2014b). Da bi detektovao ostatke supernovih u M33, Long sa saradnicima je koristio isti teleskop, u kombinaciji sa veoma dubokimh ekspozicijama sa 0.9-metarskog teleskopa (Long et al. 2010). Galaksija M83, koja ima najveći broj optičkih OSN, je posmatrana takođe sa 4-metarskim teleskopom na KPNO, ali i sa svemirskim teleskopom Hابل, kao i 6.5-metarskim teleskopom Magelan (Blair & Long 2004; Dopita et al. 2010a; Blair et al. 2014; Blair, Winkler & Long 2012).

O pojedinačnim detekcijama ostataka supernovih u literaturi biće dato dosta detalja u narednoj glavi. Upravo na osnovu uzorka poznatih optičkih OSN iz literature biće urađena procena kontaminacije $H\alpha$ fluksa iz koga se određuje stopa formiranja zvezda. U sledećem poglavlju pružićemo uvid u naša posmatranja, koja su imala za cilj dalje povećanje broja poznatih optičkih OSN.

5.2 Detekcija ostataka supernovih sa NAO Rožen

Jedan segment rada na ovoj disertaciji podrazumevao je realizaciju sopstvenih posmatranja bliskih galaksija kako bi se detektovali OSN. Posmatrački podaci su pri-

¹⁵Podaci iz LGGS su dostupni na <http://www.lowell.edu/users/massey/lgsurvey/> (Massey et al. 2006).

kupljeni na Nacionalnoj astronomskoj opservatoriji (NAO) Rožen u Bugarskoj, koja poseduje dvometarski Riči-Kretijen-Kude (eng. *Ritchey-Chrétien-Coudé - RCC*) teleskop. Opservatorija se nalazi na geografskoj širini od $\varphi = 41^{\circ}41'35''$ i dužini $\lambda = 24^{\circ}44'30''$, na 1759 m nadmorske visine. Teleskop je opremljen VersArray:1300B CCD kamerom, sa čipom od 1340×1300 piksela veličine $20 \mu\text{m}$. U primarnom Riči-Kretijen fokusu jedan piksel ima ugaonu veličinu od $0''.258$, čime se dobija vidno polje od $5'45'' \times 5'35''$. Za posmatranja su korišćeni uskopojasni filteri $\text{H}\alpha$, $[\text{S II}]$ i kontinuum filter na talasnoj dužini bliskoj talasnim dužinama ove dve linije, čije su karakteristike date u tabeli 5.1.

Tabela 5.3: Karakteristike korišćenih filtera.

Filter	λ_o [Å]	FWHM [Å]	τ_{max} [%]
[S II]	6719	33	83.3
$\text{H}\alpha$	6572	32	86.7
kontinuum	6416	26	58.0

U sklopu ove disertacije, sa NAO Rožen su posmatrani delovi galaksija IC342, NGC 3077 i NGC 185. U posmatranom delu galaksije NGC 3077, zvanom Garland, detektovano je 12 H II regiona i nijedan OSN (Anđelić et al. 2011). U galaksiji IC342 detektovano je 16 optičkih OSN i 203 H II regiona (Vučetić et al. 2013; Vučetić et al. 2015b). U galaksiji NGC 185 detektovano je 12 objekata, od kojih je jedan već poznati kandidat za OSN, jedan objekat je novi potencijalni OSN, i ostalih 10 objekata su planetarne magline i H II regioni (Vučetić et al. 2016). U narednim odeljcima ćemo dati više informacija o posmatranjima galaksija IC342 i NGC 185, dok će o galaksiji NGC 3077 biti reči u odeljku 6.3.8.

5.2.1 Galaksija IC342

IC342¹⁶ je spiralna galaksija okrenuta licem ka nama, velikog ugaonog prečnika ($21'$). Ova galaksija je značajno zaklonjena Galaktičkim diskom, i zbog toga je najčešće i izbegavana za proučavanje u optičkom delu spektra. Velika Galaktička ekstinkcija je uzrok i nesigurnosti sa kojoj je određena udaljenost na kojoj se gala-

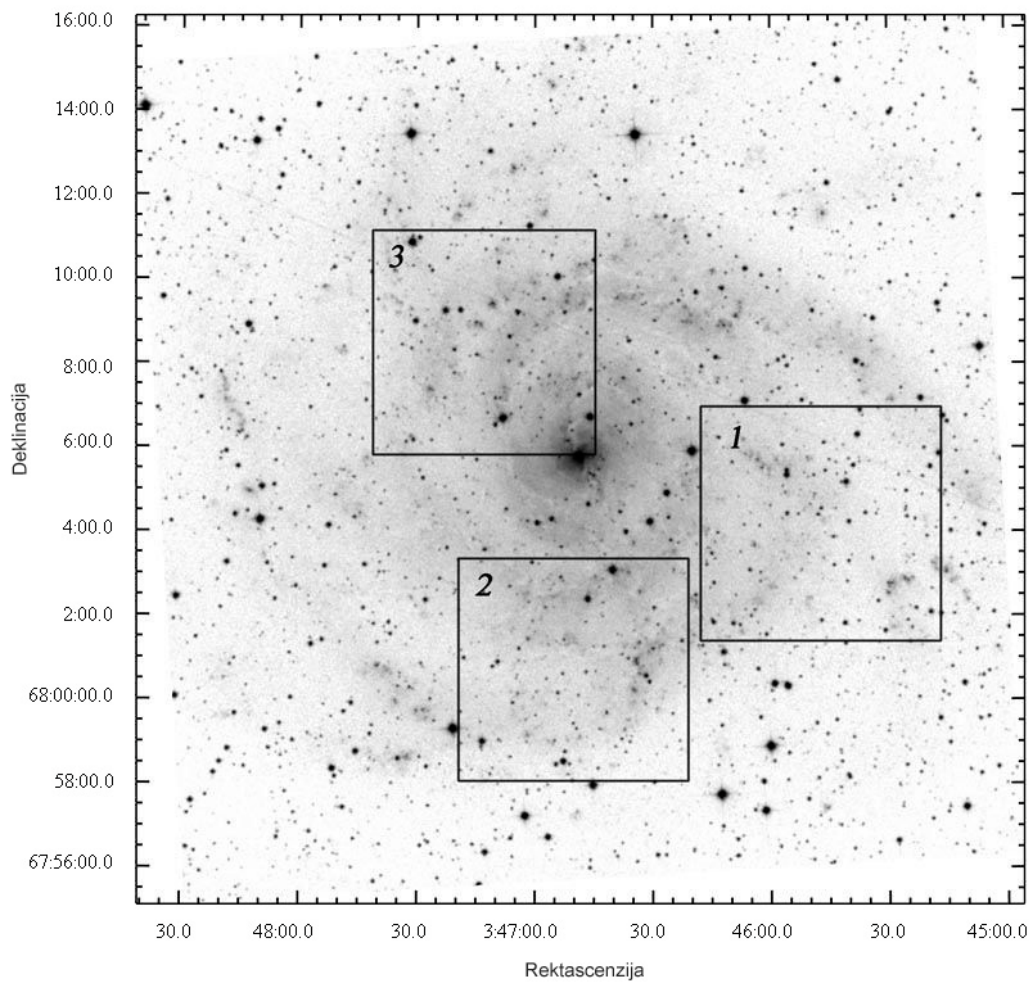
¹⁶Podaci o galaksiji IC342 sa dati u tabeli 6.1.

ksija nalazi (procene variraju od 1.8 Mpc do 8 Mpc). U ovoj disertaciji ćemo smatrati da se galaksija IC342 nalazi na 3.3 Mpc, udaljenosti koja je određena na osnovu posmatranja cefeida, ali će skoro svi krajnji rezultati disertacije biti prikazani u obliku u kom ne zavise od udaljenosti (Saha, Claver & Hoessel 2002).

Kao što je već pomenuto, galaksiju IC342 u potrazi za optičkim OSN posmatrao je Dodoriko sa saradnicima (D’Odorico et al. 1980). Oni su posmatrali samo centralni deo galaksije i detektovali 4 OSN, bez merenja flukseva. Nakon toga su Hodž i Kenikat napravili katalog sa 666 H II regiona u celoj galaksiji, a dosta kasnije je Herman sa saradnicima posmatrao ovu galaksiju kroz filtere [O III] i $H\alpha$, kako bi detektovao planetarne magline (Hodge & Kennicutt 1983; Herrmann et al. 2008).

U ovoj galaksiji se nalazi i jedan vrlo interesantan objekat - IC342 X-1, ili maglina Zub (eng. *Tooth nebula*). Ovo je ULX objekat, koje se u nekim radovima pominje i kao potencijalni OSN, zbog svog jakog zračenja u liniji [S II] (Roberts et al. 2003). Posmatran je na skoro svim talasnim dužinama, kako bi se bliže odredila njegova prava priroda, oko koje još uvek nije postignut konsenzus (npr. Roberts et al. 2003; Abolmasov et al. 2007; Feng & Kaaret 2008; Mak, Pun & Kong 2011; Cseh et al. 2012; Marlowe et al. 2014).

Vučetić i saradnici su posmatrali jugozapadni deo ove galaksije, kako bi detektovali H II regione i OSN (Vučetić et al. 2013, 2015b). U ovom delu IC342 galaksije identifikovali su 203 H II regiona i 16 kandidata za OSN. Posmatranja su realizovana 27. i 28. novembra 2011. godine. U galaksiji su posmatrana tri vidna polja (slika 5.1). Centri vidnih polja su bili redom: 1) R.A.(J2000) = 03:45:45.7, Decl.(J2000) = +68:04:11.3; 2) R.A.(J2000) = 03:46:49.9, Decl.(J2000) = +68:00:47.6; 3) R.A.(J2000) = 03:47:12.2, Decl.(J2000) = +68:08:27.7. Prve noći su posmatrana polja 1 i 2, a druge noći polje 3. Druge noći vremenski uslovi nisu bili fotometrijski, bilo je povremene oblačnosti, tako da posmatranja nisu mogla biti iskorišćena. Ukupno vreme ekspozicije kroz svaki filter bilo je 2700 s, veličina turbulentnog lika (eng. *seeing*) je bila od $1''5 - 2''75$.



Slika 5.9: Galaksija IC342 i posmatrana vidna polja. (Preuzeto sa Digital Sky Survey.)

Obrada posmatranja

Osnovna redukcija posmatračkih podataka (korekcija snimkom nulte ekspozicije i ravnomerno osvetljenog polja, eng. *bias frame* i *flatfield frame*) urađena je korišćenjem standardnih procedura u softverskom paketu IRAF¹⁷. Dalja obrada podataka (poravnavanje snimaka, sabiranje, uklanjanje sjaja pozadine) urađena je korišćenjem programa IRIS¹⁸. Po tri snimka snimljena kroz isti filter su sumirana¹⁹, a potom je sa zbirnog snimka uklonjen sjaj neba (komanda SUBSKY). Pre sabiranja, sa svakog snimka je uklonjen uticaj atmosferske ekstinkcije, tako što je snimak pomnožen koeficijentom $10^{0.4 \cdot \kappa X}$, gde je X vazдушna masa, a κ koeficijent atmosferske ekstinkcije. Izmereni koeficijenti atmosferske ekstinkcije kroz kontinuum, H α i [S II] filter su iznosili 0.10, 0.08 i 0.09 mag airmass⁻¹. Komandama MAX, MIN su izvršene takozvane kozmetičke korekcije na snimcima - uklanjanje loših (eng. *bad*) piksela, piksela pogođenih kosmičkim zracima i sl. Astrometrijska redukcija snimaka je urađena korišćenjem USNO-A2.0 astronomske kataloga (Monet et al. 1998). Kalibracija fluksa zračenja je urađena na osnovu posmatranja standardne zvezde Feige 34 (Massey et al. 1988). U sledećem koraku obrade, sa snimaka dobijenih kroz filtere H α i [S II] uklonjeno je zračenje koje potiče iz neprekidnog dela spektra. Uz pretpostavku da je neprekidni spektar bez nagiba, faktor skaliranja jednak je odnosu površina ispod krivih propusnosti odgovarajućih filtera. Od zbirnih snimaka u liniji, oduzet je skalirani snimak u kontinuumu.

Da bi se dobio apsolutni fluks izračen u liniji H α , neophodno je još ukloniti zračenje linija [N II], kao i popraviti fluks za propusnost filtera. U slučaju kada u opseg filtera ulaze tri emisione linije, na kojima imamo propusnosti filtera τ_0 , τ_1 i τ_2 , posmatrani fluks je

$$I = I_0\tau_0 + I_1\tau_1 + I_2\tau_2. \quad (5.31)$$

¹⁷IRAF je besplatan softver Nacionalne optičke astronomske opservatorije dostupan na <http://iraf.noao.edu/>.

¹⁸Takođe besplatan softver za obradu astronomske snimaka, dostupan na <http://www.astrosurf.com/buil/>.

¹⁹Sumiranje snimaka se vrši iterativnom metodom (eng. *sigma-clipping*) kojom se vrlo uspešno odbacuju kosmički zraci, kao i nepoželjni artefakti CCD čipa.

Kada želimo da odredimo apsolutni fluks jedne linije, npr. I_0 (u našem slučaju linije $H\alpha$), ako poznajemo odnose linija $r = \frac{I_2}{I_1}$ i $R = \frac{I_1+I_2}{I_0}$, onda je

$$I_0 = \frac{(1+r)I}{(1+r)\tau_0 + R\tau_1 + rR\tau_2}. \quad (5.32)$$

Da bismo uklonili kontaminaciju $H\alpha$ fluksa linijama $[N II]$ koristimo činjenicu da je teorijska vrednost odnosa linija $[N II]\lambda 6548/[N II]\lambda 6583 = 0.33$ (Osterbrock & Ferland 2006). Takođe, na osnovu spektroskopskih posmatranja magline Zub pretpostavljamo da je odnos $[N II]\lambda 6548, 6583/H\alpha = 1.07$ (Roberts et al. 2003). Poznajući krivu propusnosti filtera, dobijamo da mereni fluks dobijen kroz $H\alpha$ filter treba pomnožiti sa 0.99 kako bi se dobio apsolutni $H\alpha$ fluks.

U slučaju linija $[S II]$, mereni fluks je $I = I_1\tau_1 + I_2\tau_2$, a nas zanima zbir flukseva obe linije

$$I_1 + I_2 = \frac{(1+r)I}{\tau_1 + r\tau_2}. \quad (5.33)$$

Pretpostavljajući da je sredina koja emituje zračenja izuzetno razređena plazma, može se uzeti da je odnos linija $[S II]\lambda 6716/[S II]\lambda 6731 = 1.5$ (Duric 2004). Ukupni apsolutni $[S II]$ fluks se dobija množenjem fluksa dobijenog kroz odgovarajući filter koeficijentom 1.54.

Nakon što je sa snimaka kroz filtere za emisione linije uklonjeno zračenje u kontinuumu, a snimku kroz filter $H\alpha$ uklonjeno zračenje linija $[N II]$, a zatim svi intenziteti korigovani za propusnost filtera, dobijeni su krajnji snimci sa kojih je moguće meriti flukseve pojedinačnih izvora.

Rezultati

Da bi se sa apsolutno kalibrisanih snimaka izdvojili pojedinačni izvori, iskorišćena je komanda `BIN-UP [parametar]` u IRIS-u. Ona sve piksele intenziteta preko vrednosti `parametar` postavlja na 255, a ostale na 0. Uzeli smo da `parametar` ima vrednost 2.5σ , gde je σ standardna devijacija raspodele piksela po intenzitetima na krajnjoj $[S II]$ slici. Na taj način dobijamo sliku-masku, koju kada pomnožimo sa originalnom slikom dobijamo samo piksele sa intenzitetom iznad 2.5σ . Sa te slike

je kružnom aperturom odgovarajućeg prečnika lako izmeriti flukseve pojedinačnih izvora, a fitovanjem elipse na konture objekata u SAO-Image DS9 programu, dobijamo njihove dijametere i koordinate geometrijskog centra. Kandidatima za ostatke supernovih smatramo sve objekte koji su svetli na slici $[S II] - 0.4 H\alpha$, a koji nisu vidljivi na slici u kontinuumu.

U tabeli 5.2 dajemo koordinate, dijametere, $H\alpha$ i $[S II]$ flukseve, i odnose $[S II]/H\alpha$ za 16 potencijalnih OSN u dva posmatrana vidna polja galaksije IC342. Od detektovanih 16 objekata sa $[S II]/H\alpha > 0.4$ jedino je maglina Zub poznata od ranije, dok su ostalih 15 objekata novi potencijalni optički ostaci supernovih. Kao što se može videti iz tabele 5.2, samo je tri objekta usamljeno, dok je preostalih 13 pored ili unutar $H II$ regiona. Ovim posmatranjima smo pokazali da je dovoljno dugim ekspozicijama moguće videti i izdvojiti ostatke supernovih unutar velikih $H II$ regiona. Prilikom merenja flukseva objekata unutar $H II$ regiona (objekti broj 2, 7, 8, 13), moguće je da su fluksevi dati u tabeli 5.2 precenjeni. Na slikama 5.2 i 5.3 dati su krajnji $H\alpha$ snimci sa obeleženim detektovanim izvorima i konturama na 2.5σ iznad sjaja pozadine na krajnjoj $[S II]$ slici, za oba vidna polja.

Kako bismo proverili kvalitet naših fotometrijskih merenja, uporedili smo naš izmereni $H\alpha$ fluks magline Zub (objekat 4), sa postojećim vrednostima u literaturi. Naš fluks od $4.3 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, korigovan za pocrvenjenje usled ekstinkcije, je u intervalu između flukseva koje su dali Abolmasov sa saradnicima i Feng i Karet (Abolmasov et al. 2007; Feng & Kaaret 2008). Sa druge strane, naš fluks je oko 10 puta veći od onog koji je dao Roberts sa saradnicima (Roberts et al. 2003). Međutim, kao što je i sugerisano u radu Fenga i Kareta, mi pretpostavljamo da Roberts nije uzeo u obzir korekciju za pocrvenjenje (Feng & Kaaret 2008; Roberts et al. 2003). Takođe, kada je u pitanju odnos koji smo mi dobili – $[S II]/H\alpha = 1.12$, on se dobro slaže sa vrednostima od 1.09 i 1.07 prethodno pominjanih autora (Roberts et al. 2003; Abolmasov et al. 2007).

Kao što je ranije navedeno, Dodoriko sa saradnicima je u svom radu objavio detekciju četiri OSN u centralnom delu ove galaksije (D’Odorico et al. 1980). Naša posmatranja su obuhvatila pozicije objekata SNR2 i SNR3 iz ovog rada, i ispostavilo

Tabela 5.4: Potencijalni ostaci supernovih u galaksiji IC342.

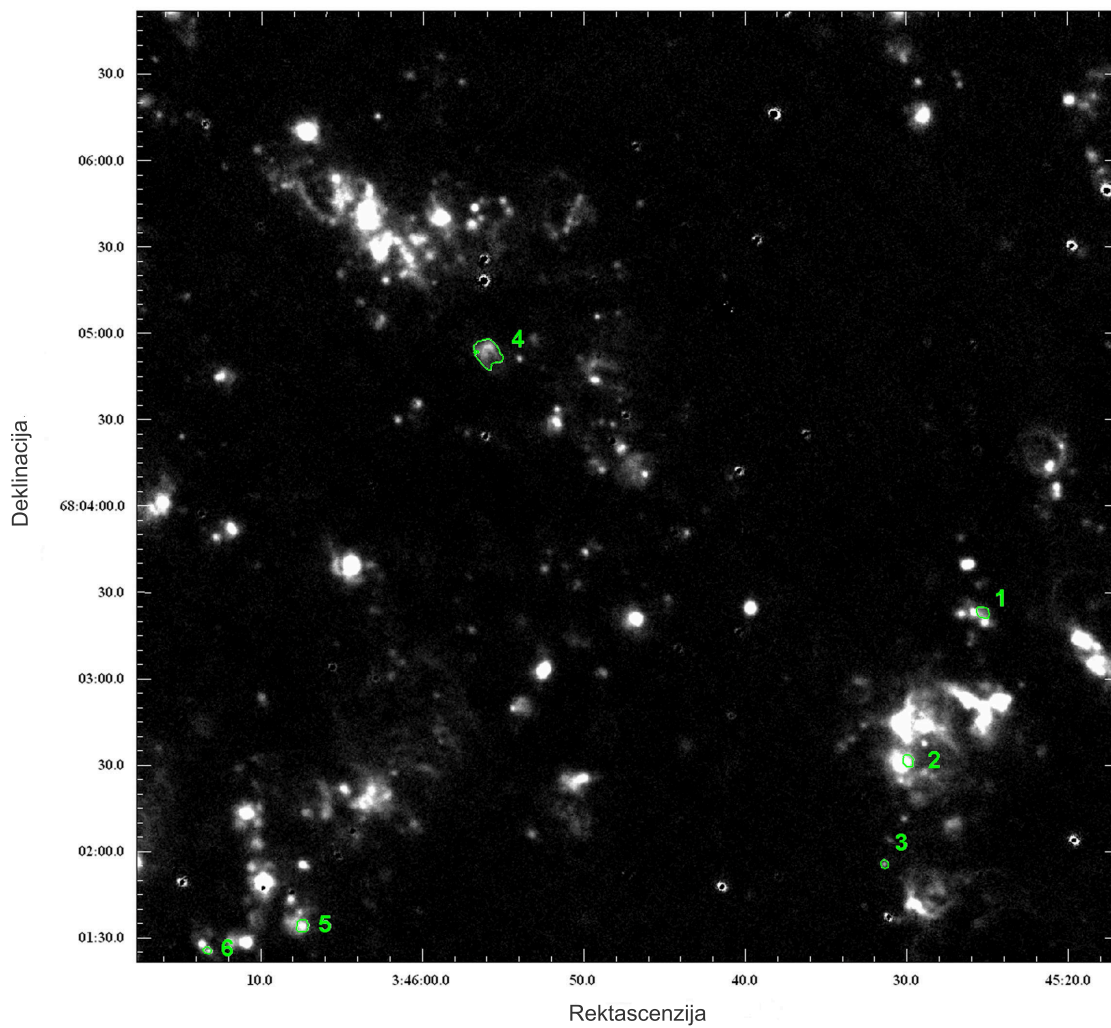
Objekat br.	Rektascenzija α_{J2000}	Deklinacija δ_{J2000}	H α fluks ^a [erg s ⁻¹ cm ⁻²] $\times 10^{-15}$	[S II] fluks ^a [erg s ⁻¹ cm ⁻²] $\times 10^{-15}$	[S II]/H α	Mala osa ^b ["]	Velika osa ^b ["]	Komentar ^c
1	03:45:25.0	+68:03:23	12.3	7.6	0.62	5.1	3.6	u blizini H II regiona 8 i 10
2	03:45:29.6	+68:02:32	37.1	15.0	0.40	4.6	3.6	unutar H II regiona 23
3	03:45:31.0	+68:01:57	3.7	4.3	1.16	3.1	2.6	izolovan
4	03:45:55.9	+68:04:56	43.5	48.8	1.12	10.3	7.5	maglina Zub
5	03:46:06.9	+68:01:35	19.7	10.9	0.55	4.1	3.6	u blizini H II regiona 83
6	03:46:12.7	+68:01:27	5.4	2.6	0.49	3.0	2.2	u blizini H II regiona 96
7	03:46:33.3	+68:00:45	<17.7 ^d	8.5	0.48	4.4	2.9	unutar H II region 118
8	03:46:34.1	+68:00:52	<62.1 ^d	27.3	0.44	3.3	2.5	unutar H II regiona 118
9	03:46:37.0	+67:59:17	17.4	7.3	0.42	3.3	2.5	unutar H II regiona 28
10	03:46:46.7	+68:02:30	65.6	25.1	0.38	6.1	6.1	u blizini H II regiona 41 i 44
11	03:46:49.9	+68:01:21	30.2	14.5	0.48	5.1	5.1	u blizini H II regiona 52
12	03:46:56.7	+68:02:53	23.4	11.0	0.47	4.1	4.1	u blizini H II regiona 57 i 63
13	03:46:58.1	+68:00:56	1.9	1.1	0.61	3.3	1.8	unutar H II regiona 64
14	03:47:00.8	+68:02:50	16.7	8.7	0.52	4.6	3.6	u blizini H II regiona 75
15	03:47:03.0	+67:59:50	10.1	12.6	1.25	4.1	4.1	u blizini H II regiona 82
16	03:47:17.1	+67:58:55	0.4	0.7	1.59	<1.5	<1.5	izolovan

^aFluksevi su korigovani za kontaminaciju linijama [N II] i pocrvenjenje (Schlafly & Finkbeiner 2011).

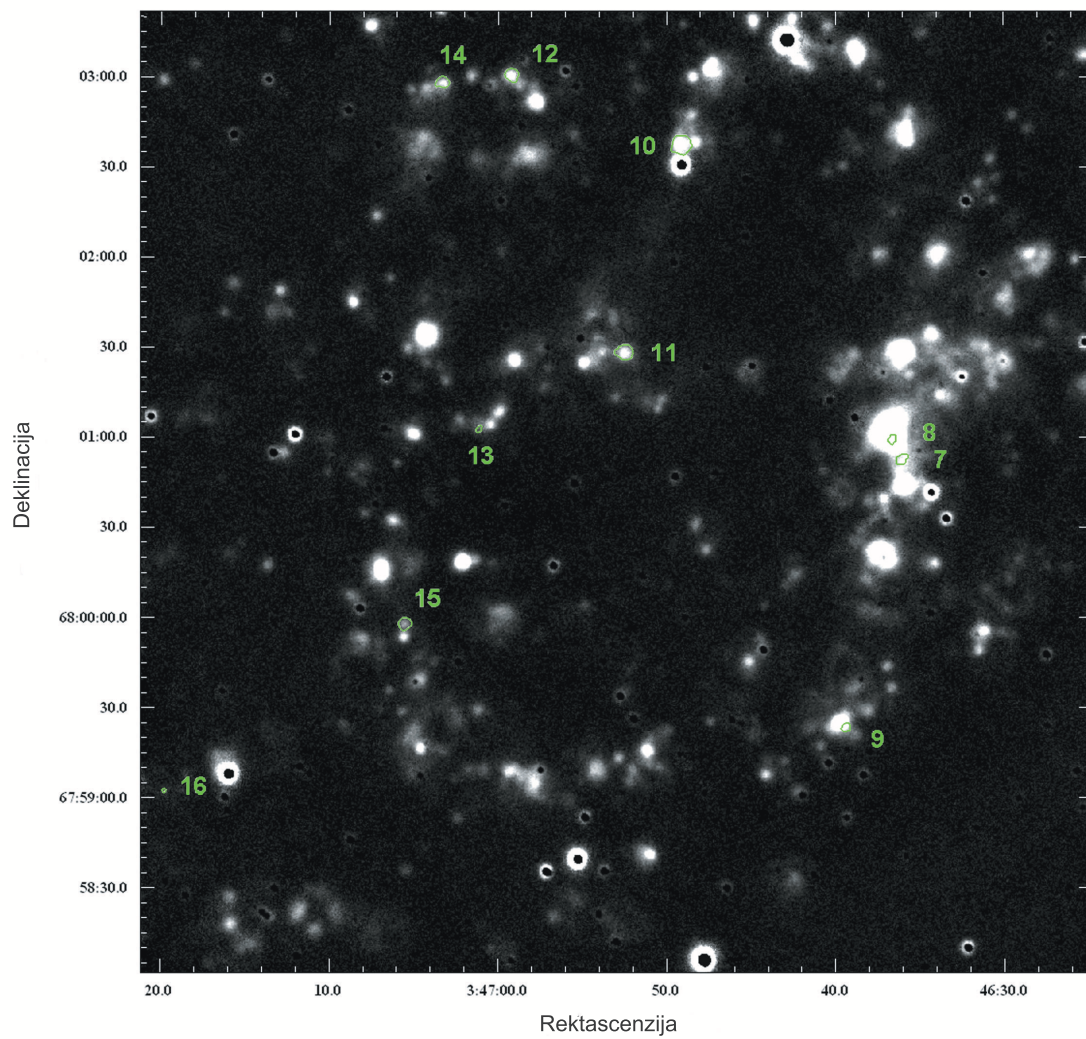
^bDimenzije su dobijene fitovanjem elipsi na konture objekata. Jedna lučna sekunda odgovara dužini od 16 pc za daljinu galaksije od 3.3 Mpc.

^cRedni brojevi H II regiona se odnose na oznake date u radu Vučetić i saradnici (Vučetić et al. 2013).

^dH α fluks predstavlja gornju granicu, jer je pri merenju fluksa nemoguće izdvojiti zračenje okolnog H II regiona.



Slika 5.10: Krajnja $H\alpha$ slika sa obeleženim objektima u vidnom polju 1. (Preuzeto iz Vučetić et al. 2015b.)



Slika 5.11: Krajnja $H\alpha$ slika sa obeleženim objektima u vidnom polju 2. (Preuzeto iz Vučetić et al. 2015b.)

se da ni jedan od ova dva objekta nema odnos $[S II]/H\alpha$ veći od 0.4. Analizom naših posmatranja i slike 5 iz rada Dodorika sa saradnicima, zaključujemo da je objekat SNR2 najverovatnije H II region 125, dok objekat SNR3 može biti H II region 138 iz rada Vučetić sa saradnicima (D’Odorico et al. 1980; Vučetić et al. 2013).

Herman sa saradnicima je detektovao 165 planetarnih maglina u galaksiji IC342, ali je u radu dao analizu samo fotometrijskih karakteristika objekata, tako da nismo mogli proveriti moguća preklapanja njihovih objekata i naših potencijalnih ostataka supernovih. Takođe, proverili smo koordinate svih poznatih objekata u X i radio-području u galaksiji IC342. Interesantno je da su jedina posmatranja ove galaksije u radio-području objavljena 1977. godine, i ni jedan od tada detektovanih objekata se ne podudara sa našim OSN (Baker et al. 1977). O posmatranjima ove galaksije u X-području je objavljeno daleko više naučnih radova, ali smo među svim detektovanim objektima našli preklapanje jedino sa maglinom Zub (Fabbiano & Trinchieri 1987; Bregman, & Tomisaka 1993; Kong 2003; Bauer et al. 2003; Mak et al. 2008; Evans et al. 2010; Liu 2011; Mak et al. 2011).

Iz tabele 5.2 se može dobiti da je ukupan fluks svih kandidata za OSN u posmatranom delu galaksije IC342 3.67×10^{-13} erg s⁻¹ cm⁻². Sa idejom da proverimo koliki je udeo fluksa OSN u ukupnom fluksu galaksije, izmerili smo ukupni H α fluks oba vidna polja. On iznosi 26.1×10^{-12} erg s⁻¹ cm⁻², odakle dobijamo da je kontaminacija ovog fluksa zračenjem ostataka supernovih 1.4%. Za svrhu grube procene, ovaj procenat se može ekstrapolirati na celu galaksiju, ali je svakako neophodno posmatrati celu galaksiju kako bi se dobila preciznija procena kontaminacije H α fluksa galaksije zračenjem OSN.

5.2.2 Galaksija NGC 185

NGC 185²⁰ je patuljasta eliptična galaksija, satelit Andromedine galaksije, na udaljenosti od oko 620 kpc. Iako je eliptična, ova galaksija pokazuje da je nedavno prošla kroz fazu formiranja zvezda. Indikacije za to su prvobitno bile brojne „plave zvezde“, za koje se sada smatra da su mlada zvezdana jata i asocijacije zvezda (Baade 1951; Martínez-Delgado, Aparicio & Gallart 1999). Kada su Galager i saradnici

²⁰Podaci o galaksiji NGC 185 sa dati u tabeli 6.1.

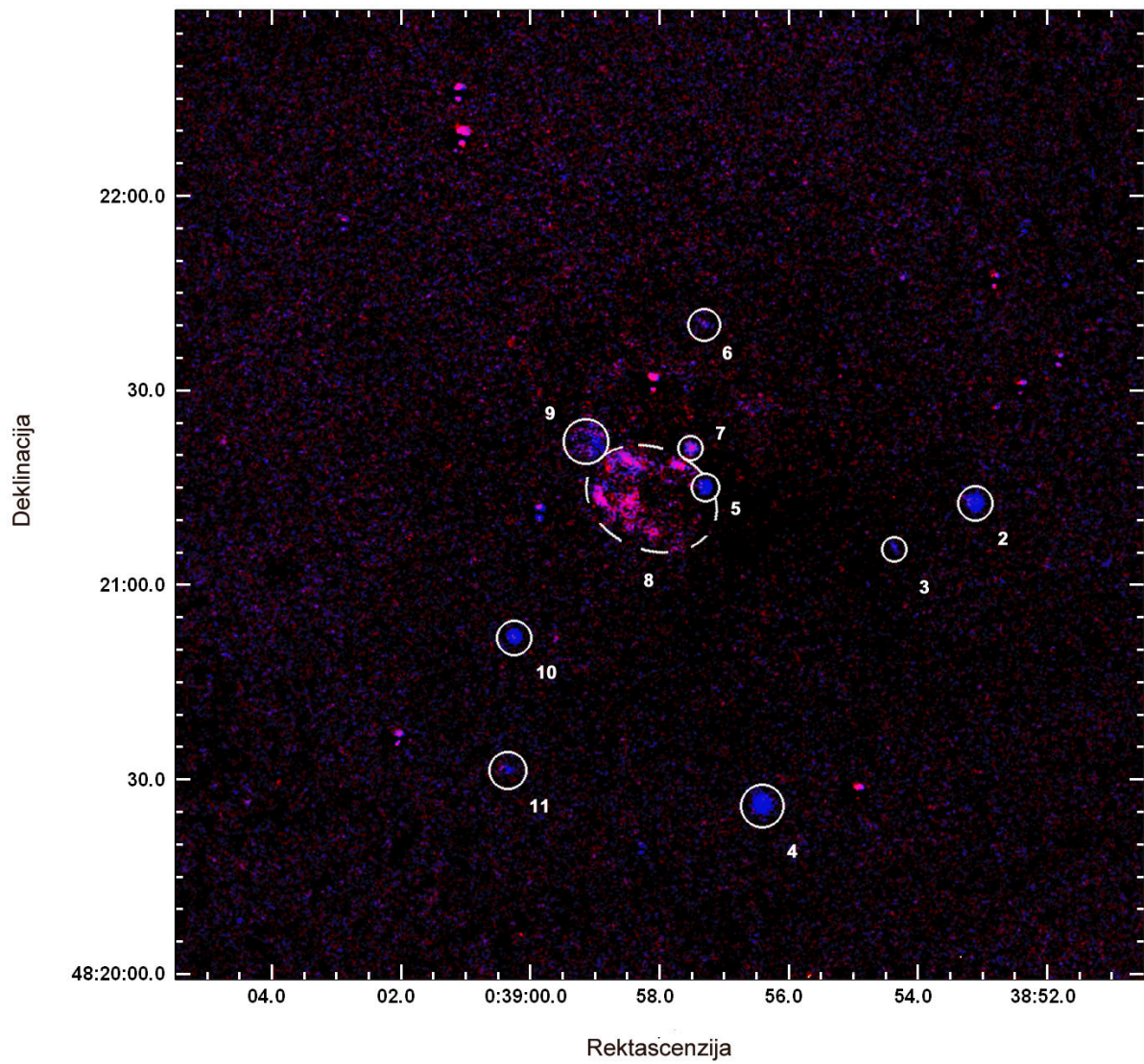
snimili spektar ove galaksije, naišli su na vrlo jaku emisiju u liniji [S II], koja je sugerisala da se u galaksiji nalaze i OSN (Gallagher, Hunter & Mould 1984). Jang i Lo su prvi detaljnije opisali jedan OSN, procenivši njegov prečnik na oko 50 pc i fluks na $30 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Young & Lo 1997). Kasnije su i Martinez-Delgado i Gonsalves sa saradnicima potvrdili da se radi o OSN u blizini centra galaksije (Martínez-Delgado et al. 1999; Gonçalves et al. 2012). Gonsalves sa saradnicima je koristeći spektrograf na teleskopu Gemini detektovao i snimio spektre ovog OSN, kao i osam planetarnih maglina i jedne simbiotske zvezde²¹ (Gonçalves et al. 2012).

Posmatranja

Sa NAO Rožen galaksija NGC 185 je posmatrana 2. i 3. novembra 2015. godine. Ukupna ekspozicija kroz svaki od tri korišćena filtera za detekciju OSN je bila po 80 minuta, a veličina turbulentnog lika 1" 25- 2" 25. Kako bi se posmatranja fotometrijski kalibrisala, posmatrana je standardna zvezda BD+28 4211. Obrada snimaka je urađena kao što je prikazano za galaksiju IC342. Za uklanjanje kontaminacije linijama [N II] u galaksiji NGC 185 korišćen je odnos linija dobijenih spektroskopskim posmatranjima Gonsalvesa sa saradnicima (Gonçalves et al. 2012). Naša posmatranja su prva koja su uključila [S II] filter i na taj način smo bili u mogućnosti da prvi put vidimo detaljnu prostornu raspodelu gasa koji je pobuđen udarnim talasom. To nas je i navelo da predložimo da u blizini već poznatog OSN postoji još jedan potencijalni OSN, kompaktan objekat sa jakom emisijom u liniji [S II] (slika 5.4). Pored ova dva izvora, detektovali smo još deset: šest planetarnih maglina, od kojih je jedna detektovana prvi put (objekat 12); dva difuzna objekta, potencijalna H II regiona; i slabu H α i [S II] emisiju na mestu pretdno poznate simbiotske zvezde. U tabeli 5.3 dajemo koordinate, flukseve i dijemetre detektovanih objekata.

U centru slike 5.4 vidi se kompleksna struktura koja emituje zračenje u linijama [S II], a koju smo rastumačili kao dva odvojena OSN, od kojih je jedan (objekat broj 7) tačkasti (za uslove naših posmatranja), a drugi (objekat broj 8) je prečnika 15" = 45 pc za pretpostavljenu udaljenost od 620 kpc. Martinez-Delgado sa saradnicima je

²¹Simbiotske zvezde su bliske dvojne zvezde, najčešće beli patuljak i crveni džin, u čijem spektru se vide linije karakteristične za veoma različite temperature gasa, koje potiču iz zajedničkog omotača belog patuljka i crvenog džina.



Slika 5.12: Centralni deo galaksije NGC 185. Emisija u liniji $H\alpha$ je plave boje, a emisija u linijama $[S II]$ crvene. Objekti sa povišenim odnosom $[S II]/H\alpha$, potencijalni OSN, su ljubičaste boje. (Preuzeto iz Vučetić et al. 2016.)

Tabela 5.5: Detektovani objekti u galaksiji NGC 185.

Broj obj.	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	$F(\text{H}\alpha)^a$ [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	[S II]/H α	D^b [pc]	Oznaka iz Gonalves et al. (2012)	Napomene
1	00:38:47.9	48:19:32	1.7	-	<6	5-PN5	PN
2	00:38:53.1	48:20:08	11.6	-	<6	1-PN1	PN
3	00:38:54.4	48:20:01	1	-	<6	10-PN8	PN
4	00:38:56.4	48:19:21	18.1	-	<6	4-PN4	PN
5	00:38:57.3	48:20:10	7.3	-	<6	2-PN2	PN
6	00:38:57.3	48:20:35	0.8	-	6	8-PN7	difuz.; H II?
7	00:38:57.5	48:20:16	2	0.44	6	9-SNR1	OSN?
8	00:38:58.2	48:20:09	18.4	1.27	45		OSN?
9	00:38:59.0	48:20:17	5.5	-	20		difuz.; H II?
10	00:39:00.2	48:19:47	5.8	-	<6	3-PN3	PN
11	00:39:00.3	48:19:27	0.9	-	<6	13-StSy	Simb. zv.
12	00:39:02.7	48:22:24	1	-	<6		PN?

^aFluksevi su korigovani za kontaminaciju linijama [N II] i galaktiku ekstinkciju, pretpostavljajući da je $A_{\text{H}\alpha} = 0.6A_{\text{B}}$, a $A_{\text{B}} = 0.667$.

^b1''=3 pc za pretpostavljenu udaljenost galaksije NGC 185 od 620 kpc.

procenio nešto veći prečnik objekta 8 (od 80 pc), kao i nešto veći fluks od 30×10^{-15} erg cm⁻² s⁻¹ (Martnez-Delgado et al. 1999). Naše procene i za fluks i za dijametar su manje, ali treba imati na umu da smo mi fluks merili sa manje površine, kao i da smo uklonili zračenje u linijama [N II] i emisiju objekta 7. Gonsalves sa saradnicima je na poziciji našeg objekta 7 detektovao objekat dimenzija od 0''7 (Gonalves et al. 2012), sa odnosom [S II]/H α =0.53 - naša vrednost je 0.44. Pomenuti autori su tvrdili da je to centralni deo ranije poznatog velikog OSN (našeg objekta 8). Mi ovaj scenario preispitujemo, kako zbog prostorne raspoređenosti na osnovu snimaka kroz [S II] filter, tako i zbog toga što se [S II]/H α odnosi ova dva objekta veoma razlikuju. Nažalost, posmatranja sa Gemini teleskopa nisu imala dovoljnu ekspoziciju kako bi se dobio dobar spektar objekta 8, čime bi se mogla rastumačiti misterija porekla ovog objekta.

Kontaminacija H α fluksa u NGC 185 galaksiji

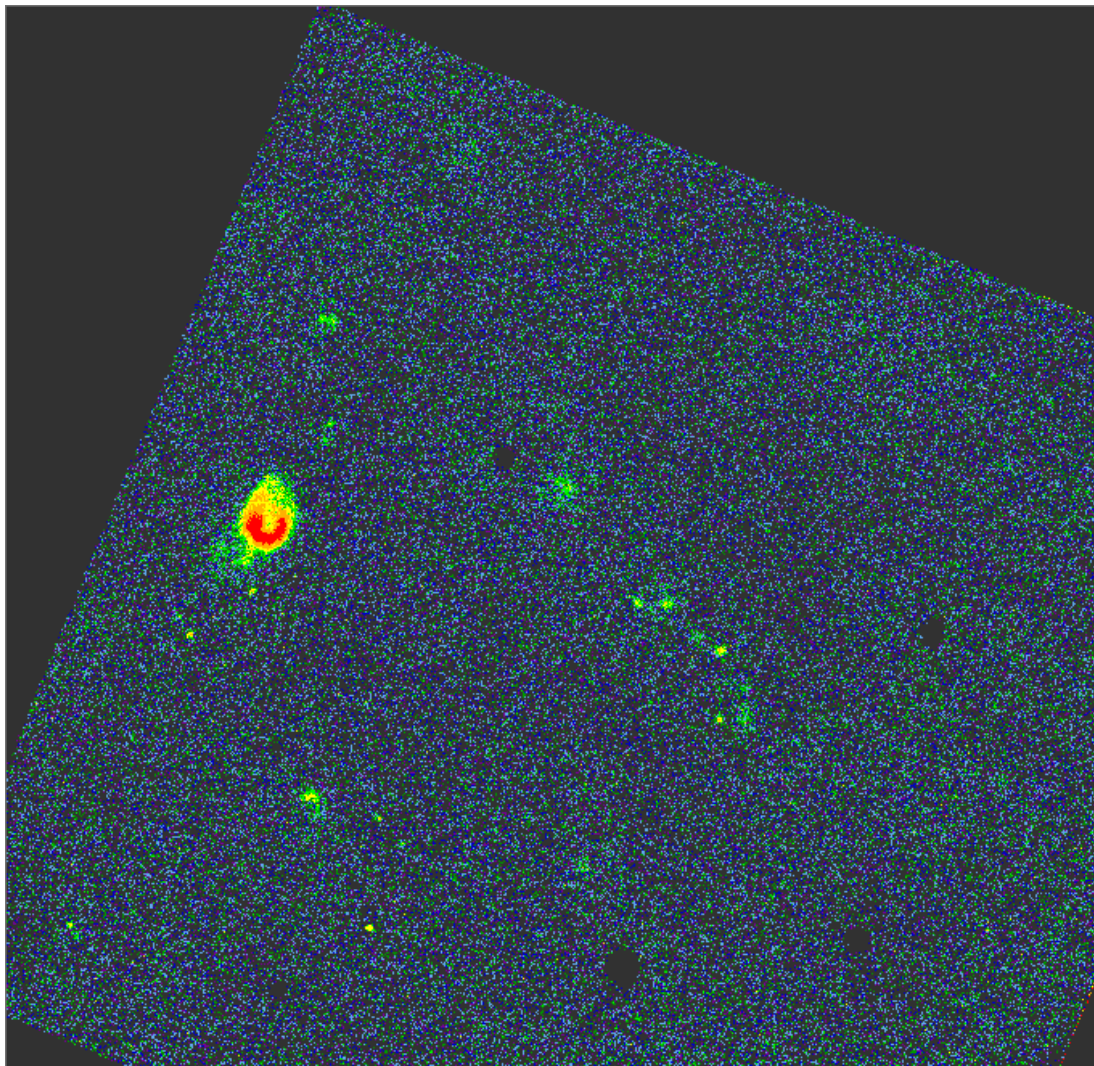
Kada na zračenje objekata u liniji H α u galaksiji NGC 185 pogledamo kroz prizmu teme ove disertacije, primeujemo da su svi sem potencijalno dva objekta, 6

i 9, objekti čija emisija u liniji $H\alpha$ nije pokazatelj formiranja zvezda (videti odeljak 3.1.1). Za posmatrani deo ove galaksije (centralnih $5' \times 5'$; galaksija je dimenzija $11' \times 10'$) imamo da je ukupni $H\alpha$ fluks $74.1 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Od toga, u najboljem slučaju, samo $6.3 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ može poticati od objekata na osnovu kojih se procenjuje SFZ. Preostali fluks od $67.8 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ potiče od izvora koji ne ukazuju na formiranje zvezda. Na ovaj način vidimo da bi se u slučaju procene SFZ u NGC 185 na osnovu ukupnog zračenja u liniji $H\alpha$ stopa formiranja zvezda precenila čak više od deset puta. Ovde napominjemo da je ovo donekle očekivano, pošto se radi o eliptičnoj patuljastoj galaksiji. Ovo je još jedna potvrda sugestija prisutnih u literaturi da prilikom procene SFZ iz emisije u liniji $H\alpha$ u patuljastim galaksijama treba biti veoma oprezan (Pflamm-Altenburg, Weidner & Kroupa 2007).

5.2.3 Galaksija Holmberg IX

U okviru ovog odeljka razmotrićemo i patuljastu galaksiju Holmberg IX. Ona se nalazi u interagujućoj grupi galaksija M81 i najverovatnije je formirana prilikom poslednjeg bliskog prolaska galaksije M82 pored M81 (Sabbi et al. 2008). Arbutina sa saradnicima je sa NAO Rožen posmatrao ovu galaksiju kroz uskopojasne filtere $H\alpha$, [S II] i kontinuum filter na talasnoj dužini bliskoj talasnim dužinama ove dve linije, sa ciljem detekcije optičkih OSN (Arbutina et al. 2009). Posmatranja su bila dugih ekspozicija od 140, 140 i 190 minuta kroz svaki od pomenutih filtera redom, i zahvaljujući tome u ovoj galaksiji izuzetno niskog površinskog sjaja detektovana su 22 objekta u $H\alpha$ emisiji (slika 5.5). Samo jedan objekat je bio sjajan u [S II] filteru, i to je od ranije poznat objekat Holmberg IX X-1. Preostalih 21 objekat predstavljaju najverovatnije kandidate za H II regione, od čega je 10 njih novih, dok su ostali poznati od ranije (Miller & Hodge 1994). Na osnovu flukseva poznatih H II regiona iz rada Milera i Hodža je urađena fotometrijska kalibracija posmatranja sa Rožena.

Pomenuti objekat Holmberg IX X-1 je sjajan X-objekat, o čijoj prirodi se još uvek ne zna dovoljno. Prvobitno je detektovan u X-području (Fabbiano 1988). Potom su ga u $H\alpha$ emisiji snimili Miler i Hodž, a zatim je Miler, na osnovu optičkog spektra i



Slika 5.13: Emisija u liniji $H\alpha$ u galaksiji Holmberg IX. Hajsjajniji je objekat Holmberg IX X-1. (Preuzeto iz Anđelić 2011.)

izuzetno velikih dimenzija (250×430 pc) sugerisao da se radi o maglini pobuđenoj udarnim talasom nakon eksplozije supernove izuzetno velike energije ili superme-huru (Miller & Hodge 1994; Miller 1995). Sa novim posmatranjima u X-području, ovaj objekat je okarakterisan kao ultraluminozni X-objekat (ULX objekat²²), gde X-zračenje potiče od akrecije materije na crnu rupu zvezdane mase, dok je u literaturi dato nekoliko detaljnijih modela ovog objekta (Gladstone, Roberts, & Done 2009; Vierdayanti et al. 2010). Detaljna posmatranja u optičkom području magline koja okružuje ovaj objekat potvrđuju da se radi o ULX izvoru, a ne o potencijalnom ostatku supernove, tj. hipernove (Moon et al. 2011; Grisé et al. 2011).

$H\alpha$ fluks ovog objekta iznosi 7.1×10^{-14} erg cm⁻² s⁻¹ (iz Arbutina et al. 2009). Ukupni $H\alpha$ fluks preostalih 21 objekata u galaksiji Holmberg IX je više nego upola manji, 2.6×10^{-14} erg cm⁻² s⁻¹. Na osnovu izraza (3.4) dobija se da je SFZ u galaksiji Holmberg IX $3.4 \times 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ (Anđelić 2011), uz pretpostavku da se galaksija nalazi na udaljenosti 3.7 Mpc (Karachentsev & Kashibadze 2006). Prilikom procene SFZ u ovoj galaksiji, zračenje izvora Holmberg IX X-1 smo isključili iz ukupnog $H\alpha$ fluksa galaksije, jer zračenje ULX izvora nije indikator formiranja zvezda. Tako se dobija 3.7 puta manja SFZ u galaksiji Holmberg IX, nego što bi se dobila da je SFZ računata na osnovu celokupnog $H\alpha$ fluksa. Naša procena SFZ ja za šest do deset puta manja u odnosu na ostale iznose SFZ prisutne u literaturi (James et al. 2004; Karachentsev & Kaisin 2007). U prethodnim procenama SFZ u galaksiji Holmberg IX posmatranja su vršena samo u liniji $H\alpha$ i nije razmatrana moguća kontaminacija fluksa izvorima koji nisu pokazatelji formiranja zvezda.

Na primeru ove galaksije, kao i galaksije NGC 185, vidimo izuzetno veliki uticaj nepoželjnih izvora sa snažnom emisijom u liniji $H\alpha$ prilikom određivanja SFZ.

²²O ovim objektima, kao i o uticaju njihovog zračenja u liniji $H\alpha$ na određivanje stope formiranja zvezda bilo je reči u odeljku 3.1.1.

6. Uticaj emisije ostataka supernovih u liniji $H\alpha$ na stopu formiranja zvezda

6.1 Galaksije sa optički detektovanim ostacima supernovih

Da bismo procenili doprinos zračenja ostataka supernovih ukupnom zračenju u liniji $H\alpha$ iz koga se dobija stopa formiranja zvezda u galaksiji, pretražili smo literaturu kako bismo identifikovali sve galaksije koje imaju posmatrane optičke OSN (Vučetić, Arbutina & Urošević 2015a). Takvih galaksija ima ukupno 25, ne računajući Mlečni put. U tabeli 6.1 su dati osnovni podaci za svaku galaksiju, preuzeti sa Nasine vangalaktičke baze podataka (eng. *NASA Extragalactic Database* – NED²³).

Od 25 galaksija koje imaju bar jedan OSN detektovan u optičkom području, izdvojili smo uzorak od 18 galaksija, koje su svojim većim delom i ciljano posmatrane kako bi se detektovali optički OSN. U gornjem delu tabele 6.1 izdvojili smo sedam galaksija koje nisu uvrštene u uzorak. Nekoliko galaksija (kao što su Veliki Magelanov oblak - VMO, Mali Magelanov oblak - MMO, NGC 6288, IC342 i IC1613) nije posmatrano u celosti, u cilju detekcije OSN, dok neke nemaju objavljene flukseve OSN. U daljem tekstu, prikazaćemo neke detalje o optičkoj detekciji OSN u ovih 7 galaksija, kao svojevrsnu sugestiju za budući rad u ovoj oblasti.

Veliki i Mali Magelanov oblak su najbliže galaksije Mlečnom putu. Zbog njihove blizine, posmatranja OSN u ovim galaksijama su započela još šezdesetih godina prošlog veka. Na udaljenosti od 50-60 kpc na kojoj se nalaze Magelanovi oblaci,

²³<http://ned.ipac.caltech.edu/>

Tabela 6.6: Podaci o galaksijama sa posmatranim optičkim OSN.

Ime galaksije	R.A. (J2000) [h:m:s]	Dekl. (J2000) [d:m:s]	d [Mpc]	Ref.	osa [']	osa [']	Mala Galaktička Inkl.* latituda [°]	Tip galaksije	B [mag]	A_B [mag]
VMO	05:23:34.5	-69:45:22	0.05	1	645	550	-32.9	SB(s)m	0.9	0.272
MMO	00:52:44.8	-72:49:43	0.06	2	320	185	-44.3	SB(s)m pec	2.7	0.134
NGC 6822	19:44:57.7	-14:48:12	0.50	1	15.5	13.5	-18.4	IB(s)m	9.31	0.855
NGC 185	00:38:58.0	48:20:15	0.62	3	11.7	10.0	-14.5	E3 pec	10.1	0.667
IC1613	01:04:47.8	02:07:04	0.65	4	16.2	14.5	-60.6	IB(s)m	9.88	0.090
IC342	03:46:48.5	68:05:47	3.30	5	21.4	20.9	10.6	SAB(rs)cd	9.1	2.024
NGC 253	00:47:33.1	-25:17:18	3.94	6	27.5	6.8	-87.9	SAB(s)c	8.04	0.068
M31	00:42:44.3	41:16:09	0.79	4	190	60	-21.6	SA(s)b	4.36	0.225
M33	01:33:50.9	30:39:37	0.84	4	70.8	41.7	-31.3	SA(s)cd	6.27	0.15
NGC 300	00:54:53.5	-37:41:04	2.0	4	21.9	15.5	-79.4	SA(s)d	8.95	0.046
NGC 4214	12:15:39.2	36:19:37	2.92	7	8.5	6.6	78.1	IAB(s)m	10.24	0.079
NGC 2403	07:36:51.4	65:36:09	3.22	4	21.9	12.3	29.2	SAB(s)cd	8.93	0.145
M82	09:55:52.7	69:40:46	3.53	8	11.2	4.3	40.6	I0	9.3	0.567
M81	09:55:33.2	69:03:55	3.63	4	26.9	14.1	40.9	SA(s)ab	7.89	0.291
NGC 3077	10:03:19.1	68:44:02	3.82	9	5.4	4.5	41.6	I0 pec	10.61	0.243
NGC 7793	23:57:49.8	-32:35:28	3.91	6	9.3	6.3	-77.2	SA(s)d	9.98	0.053
NGC 4449	12:28:11.1	44:05:37	4.21	9	6.2	4.4	72.4	IBm	9.99	0.053
M83	13:37:00.9	-29:51:56	4.47	10	12.9	11.5	31.9	SAB(s)c	8.2	0.241
NGC 4395	12:25:48.8	33:32:49	4.61	9	13.2	11.0	81.5	SA(s)m?	10.64	0.063
NGC 5204	13:29:36.5	58:25:07	4.65	9	5.0	3.0	58.0	SA(s)m	11.73	0.045
NGC 5585	14:19:48.2	56:43:45	5.7	11	5.8	3.7	56.6	SAB(s)d	11.2	0.057
NGC 6946	20:34:52.3	60:09:14	5.9	12	11.5	9.8	11.7	SAB(rs)cd	9.61	1.241
M101	14:03:12.5	54:20:56	6.7	4	28.8	26.9	59.8	SAB(rs)cd	8.31	0.031
M74	01:36:41.7	15:47:01	7.3	13	10.5	9.5	-45.7	SA(s)c	9.95	0.254
NGC 2903	09:32:10.1	21:30:03	8.9	14	12.6	6.0	44.5	SAB(rs)bc	9.68	0.113

* Iz rada Tully (1988).

REFERENCE ZA UDALJENOSTI: [1] van den Bergh 2000; [2] Ferrarese et al. 2000; [3] Conn et al. 2012; [4] Freedman et al. 2001; [5] Saha, Claver & Hoessel 2002; [6] Karachentsev et al. 2003a; [7] Tully et al. 2006; [8] Sakai & Madore 1999; [9] Karachentsev et al. 2003b; [10] Thim et al. 2003; [11] Karachentsev, Kopylov & Kopylova 1994; [12] Karachentsev et al. 2004; [13] Sharina, Karachentsev & Tikhonov 1996; [14] Drozdovsky & Karachentsev 2000.

OSN su vrlo dobro razlučeni, što daje mogućnost veoma detaljne analize. Ovo je razlog rastućem broju radova koji diskutuju pojedinačne OSN u Magelanovim oblacima i to kroz multifrekvencionu analizu (npr. Bozzetto et al. 2012a; Bozzetto et al. 2012b; Bozzetto et al. 2012c; de Horta et al. 2012; Haberl et al. 2012a; Maggi et al. 2012; Bozzetto et al. 2013; Bozzetto et al. 2014).

Prve detekcije OSN u Magelanovim oblacima su rađene kombinacijom radio i optičkih posmatranja (Mathewson & Healey 1964; Mathewson & Clarke 1972; Mathewson & Clarke 1973a; Mathewson & Clarke 1973b; Mathewson et al. 1983, 1984, 1985). Filipović sa saradnicima je pretražio sve diskretne radio-objekte u pregledu Magelanovih oblaka teleskopom Parks, i izdvojio 32 OSN i 12 kandidata za OSN u Velikom, kao i 12 OSN u Malom Magelanovom oblaku (Filipović et al. 1998). Isti autor sa saradnicima je 2005. godine predstavio 16 radio-OSN u Malom Magelanovom oblaku, detektovanih teleskopom ATCA (eng. *Australian Telescope Compact Array*) (Filipović et al. 2005). Za 12 OSN iz ovog rada je snimljen optički spektar i dati su odnosi emisionih linija (Payne et al. 2007). Revizijom pregleda Magelanovih oblaka teleskopom Parks, uključujući ATCA posmatranja, dobijeno je da Veliki Magelanov oblak ima 52 potvrđena OSN i 20 kandidata u radio-području (Payne, White & Filipović 2008).

Vilijams sa saradnicima je 1999. godine predstavila atlas ROSAT (skraćeno od nem. *Röntgensatellit*) izvora, koji je sadržao 31 OSN u Velikom Magelanovom oblaku, dok je Haberl sa saradnicima prvi posmatrao celu površinu Malog Magelanovog oblaka u X-području (Williams et al. 1999; Haberl et al. 2012b). U pokušaju da sakupe što kompletniji uzorak OSN u Magelanovim oblacima, Badenes, Maoz i Drejn su spojili dva kataloga, čime su dobili 54 potvrđena OSN u Velikom i 23 OSN u Malom Magelanovom oblaku (Badenes, Maoz & Draine 2010). Prvi katalog koji su koristili je katalog optičkih OSN u Magelanovim oblacima, koji je sastavljen u sklopu Pregleda Magelanovih Oblaka u emisionim linijama (eng. *Magellanic Clouds Emission Line Survey* - MCELS) (Smith, Leiton & Pizarro 2000). Najnovija verzija ovog kataloga²⁴ sadrži 31 OSN u Velikom i 11 OSN u Malom Magelanovom oblaku. Drugi korišćeni katalog je Baza podataka ostataka supernovih u Magelanovim obla-

²⁴<http://www.ctio.noao.edu/mcels/snrs/framesnrs.html>

cima (eng. *Magellanic Clouds Supernova Remnant Database*) (Murphy Williams et al. 2010). Trenutna verzija ovog kataloga²⁵ sadrži 47 potvrđenih OSN u Velikom i 16 OSN u Malom Magelanovom oblaku. Nažalost, nijedan od ovih kataloga ne sadrži podatke o optičkim fluksevima objekata, koji bi se mogli iskoristiti u obradi teme ove disertacije.

NGC 6822 je jedna od nama najbližih patuljastih nepravilnih galaksija iz Lokalne grupe, ako izuzmemo Mali Magelanov oblak. Uprkos svojoj pogodnoj udaljenosti, od oko 500 kpc, do sada je u ovoj galaksiji detektovan samo jedan ostatak supernove. Ovaj OSN - Ho 12, je prvobito posmatrao Hodž, a zatim i Dodoriko sa saradnicima 1980. i 1983. godine (Hodge 1977; D'Odorico et al. 1980; D'Odorico & Dopita 1983). Multifrekvencionu analizu ovog objekta uradila je Kong sa saradnicima (Kong, Sjouwerman & Williams 2004). Pomenuti autori su iskoristili optičku sliku iz Pregleda Lokalne grupe (eng. *Local Galaxy Survey - LGS*), arhivska posmatranja sa svemirskog X-teleskopa Čandra (eng. *Chandra*), i radio-teleskopa VLA (Massey et al. 2006). Njihovom grubom kalibracijom H α fluks Ho 12 je procenjen na 6.9×10^{-14} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$.

IC1613 je nepravilna galaksija male mase u Lokalnoj grupi. Jedini poznati OSN u ovoj galaksiji je sjajna maglina S8 (Sandage 1971). Ovaj OSN su posmatrali brojni autori (D'Odorico et al. 1980, D'Odorico & Dopita 1983, Peimbert, Bohigas, & Torres-Peimbert 1988). Najskorije je Lozinskaja objavila multifrekvencionu analizu ovog OSN, nažalost bez objavljenog H α fluksa (Lozinskaya et al. 1998).

NGC 253, pripadnica grupe galaksija Vajar, je jedna od nama najbližih zvezdodrodnih galaksija. Ova galaksija je u mnogome veoma slična galaksiji M82. Centralni deo galaksije pokazuje vrlo izraženo rađanje zvezda (Forbes et al. 2000). Kako je okrenuta bočno, detekcija OSN u ovoj galaksiji je otežana. Većina potraga za OSN u ovoj galaksiji je rađeno u radio-području (Ulvestad 2000; Lenc & Tingay 2006). U optičkom delu spektra, detektovana su dva OSN (D'Odorico et al. 1980).

O galaksijama IC342 i NGC 185, kao i o detekciji ostataka supernovih u njima sa NAO Rožen bilo je reči u prethodnoj glavi.

²⁵<http://www.mcsnr.org/>

6.2 Opis uzorka

Od 25 galaksija koje imaju detektovane optičke OSN, izabrali smo 18 galaksija koje su bile u celosti ili delom posmatrane sa ciljem detekcije OSN u vidljivom delu spektra i za koje postoje objavljene procene fluksa OSN. Osnovne karakteristike ovih 18 galaksija su date u drugom delu tabele 6.1. Kada pogledamo morfologiju galaksija koje se nalaze u našem uzorku, 14 njih je spiralno, dok su četiri nepravilne. Imajući u vidu da se u spiralnim i nepravilnim galaksijama rađa najviše zvezda, ovakav odabir morfologija galaksija je očekivan. Većina galaksija su sa manjim uglovima inklinacije, kako bi se smanjila ekstinkcija u matičnoj galaksiji. Izuzeci su par poznatih i veoma sjajnih galaksija, kao što su M31 i M82. Iz sličnog razloga, da bi se smanjila ekstinkcija u našoj Galaksiji, sve galaksije, sem NGC 6946, su van Galaktičke ravni, sa Galaktičkim latitudama $|b| > 20^\circ$. Takođe, sve galaksije u našem uzorku imaju prividnu magnitudu u B filteru $B < 12$. Polovina galaksija iz uzorka je na udaljenosti od 3 – 5 Mpc. Najdalja galaksija sa optički detektovanim OSN je NGC 2903, na udaljenosti od oko 9 Mpc. Proveravali smo koliko galaksija iz Kataloga bliskih galaksija (eng. *Nearby Galaxy Catalog*, Tully 1988) odgovara kriterijumima kojima podležu galaksije koje se nalaze u okviru našeg uzorka: da su spiralne ili nepravilne, da im je $d < 9$ Mpc, $i < 70^\circ$, $|b| > 20^\circ$ i $B < 12$. Ukupno 50 galaksija ispunjava ove uslove, a 17 među njima je na udaljenosti 3 – 5 Mpc. Stoga, zaključujemo da naš uzorak predstavlja oko 35% galaksija koje bi mogle biti potencijalni kandidati za detekciju optičkih OSN, pod ovim uslovljenim karakteristikama. Naglašavamo da su uslovi iz našeg uzorka posledica selekcionog efekta - posmatrači za svoje mete biraju objekte koji su bliži, sjajniji i trpe što manji uticaj ekstinkcije. Ako bismo uslove proširili tako da obuhvataju sve inklinacije i da je prividna magnituda u B filteru čak do $B = 15$, u optičaju bismo imali 154 galaksije.

U našem uzorku ima galaksija (kao što su NGC 2403, M83 i M101) kod kojih su isti OSN posmatrani u više različitih studija. U takvim slučajevima, podatak vezan za fluks OSN smo birali tako da je njegov izvor najpouzdaniji (najskorija posmatranja ili posmatranja realizovana najmoćnijim teleskopom). Takođe, kada

smo imali situaciju da su u istoj galaksiji posmatrani različiti delovi galaksije od strane različitih grupa autora (kao kod M83 i M101), predstavili smo sve detektovane OSN, iz svih delova galaksije.

Da bismo mogli da poredimo $H\alpha$ flukseve OSN, sa fluksevima galaksija, flukseve OSN smo korigovali za istu vrednost Galaktičke ekstinkcije i za kontaminaciju linijama $[N II]$, kao što je to urađeno za $H\alpha$ flukseve galaksija (za više detalja pogledati poglavlje 6.4). Tako korigovani fluksevi su dati u poglavlju 6.4, dok su u narednom poglavlju fluksevi OSN u svakoj od galaksija u uzorku, dati onako kako su originalno objavljeni u literaturi.

6.3 Oblježne galaksije sa optički detektovanim ostacima supernovih

U ovom poglavlju prikazaćemo osobine svih 18 galaksija u uzorku, pojedinačno. Za svaku je sumirana prethodna detekcija OSN u toj galaksiji, sa posebnim osvrtom na detekcije u optičkom delu spektra. Takođe, izdvojićemo i neke interesantne objekte u pojedinim galaksijama. U prilogu ove disertacije dati su podaci (koordinate, $H\alpha$ fluksevi, dijometri i odnosi $[S II]/H\alpha$) za svaki pojedinačni detektovani OSN u svakoj od galaksija.

6.3.1 M31

Andromedina galaksija, M31, je najveća galaksija u Lokalnoj grupi i nama najbliža spiralna galaksija. M31 je u mnogome veoma slična našoj Galaksiji i to je još jedan od razloga zašto nam je toliko interesantna za proučavanje. Nažalost, zbog velike inklinacije ($\sim 78^\circ$), broj objekata, a samim tim i OSN, koje možemo detektovati u ovoj galaksiji je značajno manji od očekivanog. Prvu diskusiju o optičkim OSN u M31 započeo je Kumar (Kumar 1976). Dodoriko sa saradnicima je detektovao 19 optičkih OSN, dok su Bler, Kiršner i Ševalje videli 18 OSN, a za 11 od njih su izmerili flukseve (D’Odorico et al. 1980; Blair, Kirshner, & Chevalier 1981). Braun i Valterbos su posmatrali deo spiralnih grana u severoistočnoj polovini galaksije i

detektovali 52 kandidata za OSN, i to i u optičkom i u radio-području (Braun & Walterbos 1993). Dve godine kasnije, Magnier sa saradnicima je objavio listu sa 178 kandidata za OSN, sa površine od oko kvadratnog stepena u galaktičkom disku, ali bez procena za flukseve objekata (Magnier et al. 1995). Na radio-frekvencijama, Dikel sa saradnicima je tražio 19 OSN koji su prethodno bili posmatrani u optičkom području i uspeali su da detektuju njih osam (Dickel et al. 1982; Dickel & D’Odorico 1984). U X-području, teleskopom ROSAT je detektovano 16 OSN, dok je teleskopom XMM-Njutn (eng. *X-ray Multi-Mirror Mission – Newton*) detektovan 21 OSN (Supper et al. 2001; Pietsch, Freyberg & Haberl 2005). Stiele sa saradnicima je objavio katalog objekata detektovanih teleskopom XMM-Njutn u celoj galaksiji M31, od kojih je 25 objekata bilo označeno kao već poznati OSN, dok je njih 31 obeleženo kao novi kandidati za OSN (Stiele et al. 2011). Sasaki sa saradnicima je pretražio Pregled Lokalne grupe galaksija (Massey et al. 2006) i arhivske snimke sa svemirskog teleskopa Habi kako bi pronašao optičke izvore koji odgovaraju kandidatima za OSN u X-području iz rada Stielea sa saradnicima (Sasaki et al. 2012; Stiele et al. 2011). Našli su 21 OSN i 20 kandidata za OSN iz X-područja koji imaju odgovarajuće optičke izvore. Takođe, predložili su dodatnih pet X-izvora za kandidate za OSN, na osnovu njihovih optičkih osobina.

Nedavno su Li i Li predstavili katalog sa 156 optičkih OSN iz cele galaksije M31, na osnovu $H\alpha$ i $[S II]$ slika iz Pregleda Lokalne grupe galaksija (Lee & Lee 2014a). U svom radu, oni su sve izvore koji su imali $[S II]/H\alpha > 0.4$ odbacili kao potencijalne OSN, ako su ti izvori u svojoj projekciji imali OB zvezde ili su bili veći od 100 pc u prečniku. Po njima, ovakvi objekti bi trebalo da predstavljaju H II regione oko OB asocijacija zvezda ili supermehure. Na ovaj način su odbacili 154 objekta, za koje se prethodno smatralo da su OSN. Od pomenutih 154 objekta, 44 su okvalifikovani kao supermehuri. Od 156 objekata koji su u katalog svrstani kao OSN, 80 je bilo poznato od ranije (Braun & Walterbos 1993; Magnier et al. 1995; Sasaki et al. 2012).

Ukupni $H\alpha$ fluks 156 OSN u M31 je 4.81×10^{-12} erg cm⁻² s⁻¹ (iz Lee & Lee 2014a).

6.3.2 M33

M33 je spiralna galaksija u Lokalnoj grupi. Sa svojom udaljenošću od 840 kpc, umerenom inklinacijom ($i = 54^\circ$) i niskom Galaktičkom apsorpcijom ($A_B=0.15$ mag), ova galaksija je dobar kandidat za detekciju optičkih OSN. Ovo bi mogao biti razlog tome što je ovo galaksija sa najvećim uzorkom OSN detektovanih istovremeno i na optičkim i na X-talasnim dužinama. Long sa saradnicima je dao veliki doprinos u ovoj oblasti, time što je detektovao i detaljno opisao 137 OSN, ujedno posmatranih u X, radio i optičkom području (Long et al. 2010). Ovi autori su unapredili katalog optičkih OSN koji su prethodno sastavili Gordon i saradnici, a koji je imao 98 izvora detektovanih četvorometarskim teleskopom na opservatoriji Kit Pik (Gordon et al. 1998). Long sa saradnicima je prvobitno predstavio rezultate pregleda galaksije M33 X-teleskopom Čandra (ChASem33 pregled, Plucinsky et al. 2008), ali je u radu data i značajna multifrekvenciona analiza detektovanih OSN. Koristili su Pregled Lokalne grupe galaksija (Massey et al. 2006), kao i svoja posmatranja sa šezdesetcentimetarskim teleskopom sa veoma dugim ekspozicijama (5100 s). U uzorku od 137 optičkih OSN, Long sa saradnicima je detektovao 131 OSN i u X-području (Long et al. 2010). Isti autori su takođe napravili nova radio-posmatranja sa VLA teleskopom, ali u visokoj rezoluciji. Prethodno je u radio-području Gordon sa saradnicima detektovao 53 OSN od kojih su svi već bili predloženi kao OSN na osnovu optičkih posmatranja (Gordon et al. 1999). Long sa saradnicima je bio uspešan u detekciji mladih ostataka malog dijametra (Long et al. 2010).

Nakon rada Longa sa saradnicima, Li i Li su uradili još jednu sistematsku potragu za optičkim OSN u ovoj galaksiji (Long et al. 2010; Lee & Lee 2014b). Takođe, na osnovu Pregleda Lokalne grupe galaksija, a koristeći iste kriterijume kao u radu za galaksiju M31, Li i Li su detektovali ukupno 199 OSN, ali sa tim da su 17 kandidata sa liste OSN iz rada Longa sa saradnicima isključili (kao H II regione i supermehure), a dodali 79 novih potencijalnih OSN niskog sjaja (Long et al. 2010; Lee & Lee 2014b).

Na osnovu optičkih posmatranja iz Pregleda Lokalne grupe galaksija, nalazimo da je ukupan H α fluks 199 OSN detektovanih u galaksiji M33 6.0×10^{-12} erg cm $^{-2}$

s^{-1} (Lee i Lee 2014b).

6.3.3 NGC 300

NGC 300 je spiralna galaksija u grupi galaksija Vajar. NGC 300 je optički veoma sjajna, a posebno u liniji $\text{H}\alpha$, zbog mnogobrojnih velikih H II regiona, koji su pokazatelji trenutnog formiranja zvezda (videti Butler, Martínez-Delgado & Brandner 2004). Dodoriko sa saradnicima je prvi detektovao optičke OSN u ovoj galaksiji (D’Odorico et al. 1980). Većina kasnijih studija OSN u NGC 300 su bile multifrekvencione (Blair & Long 1997; Pannuti et al. 2000; Payne et al. 2004; Millar et al. 2011). Prvobitno su Blair i Long posmatrali NGC 300 u uskopojasnim optičkim filterima, uz prateću spektroskopiju potencijalnih OSN i predložili su 28 kandidata za OSN (Blair & Long 1997). Panuti sa saradnicima je uradio analizu OSN u galaksiji NGC 300 i to tako što je galaksiju posmatrao radio-teleskopom VLA, u kombinaciji sa sopstvenim optičkim posmatranjima, posmatranjima Blera i Longa i arhivskim snimcima sa X-teleskopa ROSAT (Pannuti et al. 2000). Predložili su 17 radio-OSN, od kojih su tri bila detektovana i u optičkom delu spektra. Takođe, Pejn sa saradnicima je detaljno proučio prethodno detektovane OSN u NGC 300 i uporedio ih sa izvorima detektovanim sa teleskopima ATCA i XMM-Njutn (Payne et al. 2004). Konačno, Milar sa saradnicima je realizovao spektroskopska posmatranja svih 51 prethodno poznatih OSN, uz analizu arhivskih snimaka sa X-teleskopa Čandra (Millar et al. 2011). Na osnovu spektroskopskih posmatranja, potvrđeno je 22 OSN od 28 iz rada Blera i Longa, od kojih su tri detektovana i u radio, a dva i u X-području (Blar & Long 1997).

Ukupni $\text{H}\alpha$ fluks 22 OSN u NGC 300 je $2.3 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Millar et al. 2011).

6.3.4 NGC 4214

NGC 4214 je obližnja nepravilna patuljasta galaksija, u kojoj se trenutno odvija masivno formiranje zvezda. Na osnovu optičkih i posmatranja u bliskom IC i UV-području, Hakra sa saradnicima je zaključio da je ova galaksija prošla kroz nekoliko

naleta intenzivnog formiranja zvezda u proteklih 10^7 godina (Huchra et al. 1983). NGC 4214 je jedna od nekoliko galaksija kod kojih je detekcija OSN izvršena na X, radio i optičkim talasnim dužinama. Prvobitno je detektovan jedan radio-OSN, na osnovu arhivskih VLA posmatranja, a potom su, na osnovu posmatranja sa istog teleskopa, još tri objekta obeležena kao potencijalni OSN/H II regioni (Vukotić et al. 2005; Chomiuk & Wilcots 2009). Pretražujući arhivske snimke sa X-teleskopa Čandra, Leonidaki sa saradnicima je predložila 11 objekata kao potencijalne OSN (Leonidaki et al. 2010). Iste godine, Dopita sa saradnicima je koristeći svemirski teleskop Hubble detektovao sve poznate radio-OSN (iz Chomiuk & Wilcots 2009; Dopita et al. 2010b). Konačno, Leonidaki sa saradnicima je, koristeći kriterijum $[S II]/H\alpha$ detektovala 92 objekta, potencijalne optičke OSN (Leonidaki et al. 2013).

Ova 92 kandidata za OSN u galaksiji NGC 4214 imaju ukupni $H\alpha$ fluks 1.73×10^{-12} erg cm⁻² s⁻¹ (Leonidaki et al. 2013).

6.3.5 NGC 2403

NGC 2403 je spiralna galaksija na udaljenosti od 3.22 Mpc i sa inklinacijom od oko 60°. Ova galaksija je druga po sjaju u grupi galaksija M81 (Karachentsev et al. 2002). Prvobitno su dva optička OSN u ovoj galaksiji detektovali Dodoriko i saradnici (D’Odorico et al. 1980). Kasnije su ova dva OSN potvrđena, uz detekciju još 33 nova optička OSN (Matonick et al. 1997). Posmatranja teleskopom VLA su otkrila samo tri radio-kandidata za OSN (Turner & Ho 1994; Eck, Cowan & Branch 2002). Panuti sa saradnicima je tražio preklapanja između uzorka X-objekata koje su oni detektovali u NGC 2403 i prethodno poznatih OSN u optičkom i radio-području (Pannuti, Schlegel & Lacey 2007). Našli su preklapanje samo između jednog optičkog i jednog radio-OSN sa poznatim X-izvorima. Kasnije je Leonidaki sa saradnicima detektovala 15 OSN u X-području i 149 u optičkom (Leonidaki et al. 2010, 2013). Svi prethodno poznati optički OSN, sem objekta OSN-1 iz rada Matonika sa saradnicima, koji je bio van vidnog polja, su u radu Leonidaki sa saradnicima potvrđeni (Matonick et al. 1997; Leonidaki et al. 2013).

Ukupni $H\alpha$ fluks 150 optičkih OSN u galaksiji NGC 2403 je 5.65×10^{-12} erg cm⁻² s⁻¹ (iz Matonick et al. 1997 i Leonidaki et al. 2013). Ova galaksija je četvrta

po broju optički detektovanih OSN, posle M83, M31 i M33, ali je prva po procentu $H\alpha$ fluksa koji potiče od OSN, u odnosu na ukupni $H\alpha$ fluks galaksije.

6.3.6 M82

Galaksija M82 je članica grupe galaksija M81, sa udaljenošću od 3.53 Mpc. Ona je svakako jedna od najbližih i najviše proučavanih zvezdorodnih galaksija. Aktivno formiranje zvezda traje oko 20 miliona godina, stopom od oko $10 M_{\odot} \text{ god}^{-1}$. Najviše formiranja zvezda se dešava u regionu veličine 500 pc, tako da je gustina formiranja zvezda milionima puta veća od one kod normalnih galaksija poput Mlečnog puta. Jedan od pokazatelja tako intenzivnog formiranja zvezda su posmatrane tri SN u poslednjih 13 godina (Barbon et al. 1999). Iako to nije vezano za skorašnje formiranje zvezda, zanimljivo je da je 2014. godine u ovoj galaksiji posmatrana eksplozija SN tipa Ia, SN2014J²⁶ (Fossey et al. 2014). Proces formiranja zvezda je najintenzivniji u centralnom delu galaksije, koji je, zbog velike ekstinkcije prašinom unutar ovog regiona, najčešće bio izbegavan za optička posmatranja. U ovom regionu, jezgru galaksije, postoji značajna populacija kompaktnih radio-OSN (Kronberg & Wilkinson 1975; Kronberg, Biermann & Schwab 1985; Huang et al. 1994; Muxlow et al. 1994; Fenech et al. 2008; Fenech et al. 2010). Tek posmatranjima sa HST u uskopojasnom filteru $H\alpha$ detektovano je 10 OSN u optičkom delu spektra (de Grijs et al. 2000). Ovi objekti detektovani su u delu galaksije poznatom pod imenom M82B, gde se formiranje zvezda odvija malo sporije nego u centru galaksije. Interesantno je pomenuti da ovi kandidati za OSN nisu detektovani na osnovu njihovih odnosa $[S II]/H\alpha$, već je uslov bio da je $H\alpha$ luminoznost manja od $14 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$ i dijametar manji od 100 pc.

Ukupni $H\alpha$ fluks ovih 10 OSN je $2.20 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (de Grijs et al. 2000).

²⁶Ovo je najbliža SN Ia posmatrana u poslednje 42 godine. Prvobitno je uočena tokom posmatranja profesora i grupe studenata na Opservatoriji Univerziteta u Londonu sa 35-centimetarskim teleskopom. SN2014J je bila dovoljno sjajna da može da se uoči i posmatranjem kroz dvogled. Snimak ove supernove je prikazan na slici 4.1.

6.3.7 M81

M81 je obližnja spiralna galaksija, najsjajnija u svojoj grupi. Galaksije M81 i M82 formiraju veoma interesantan par interagujućih galaksija, koje su imale blizak susret pre nekoliko desetina miliona godina. Pored toga, galaksija M81 ima i AGJ male luminoznosti u svom središtu (Markoff et al. 2008). Kad je u pitanju optička detekcija OSN, Matonik i Fesen su prvi koji su posmatrali galaksiju M81 sa ovim ciljem (Matonick & Fesen 1997). U pet vidnih polja, kojima je pokriven čitav galaktički disk, kroz filtere [S II] i H α , detektovan je 41 OSN. Deset godina ranije, u potrazi za velikim H II regionima teleskopom VLA na 6 cm i 20 cm, Kofmen i saradnici su predložili da su pet izvora koje su detektovali OSN, na osnovu njihovih spektralnih indeksa (Kaufman et al. 1987). Panuti sa saradnicima je na osnovu posmatranja teleskopom Čandra trazio objekte u X-području koji bi odgovarali OSN detektovanim u optičkom i radio-području (Pannuti et al. 2007). Vidno polje koje su posmatrali je pokrilo svega 23 optička i tri radio-OSN, ali nisu pronašli odgovarajuće X-izvore. Nedavno je Li sa saradnicima spektroskopski snimio 28 kandidata za OSN u galaksiji M81, od kojih je čak 26 potvrđeno kao OSN (Lee et al. 2015) U radu je veoma detaljno diskutovano o gradijentu zastupljenosti elemenata i odnosima emisionih linija u galaksiji.

Ukupni H α fluks 41 optičkog OSN detektovnog u galaksiji M81 je 1.8×10^{-13} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ (Matonick & Fesen 1997).

6.3.8 NGC 3077

NGC 3077 je obližnja patuljasta galaksija, članica grupe galaksija M81. Plimska interakcija između galaksija u ovoj grupi je verovatno uzrok povećanog formiranja zvezda (Walter et al. 2002). U ovoj galaksiji, ostaci supernovih su prvobitno bili detektovani u rendgenskom području, i to njih tri, posmatranjima teleskopom Čandra (Ott, Martin & Walter 2003). Kasnije je potvrđeno da jedan od ovih izvora ima odgovarajući objekat u radio-području (Rosa-Gonzales 2005). Leonidaki sa saradnicima je detektovala 5 OSN koristeći arhivske snimke sa Čandra opservatorije, od kojih su dva objekta bila poznata od ranije (Leonidaki et al. 2010; Ott et al. 2003).

Konačno, Leonidaki sa saradnicima je detektovala i 24 optička OSN u NGC 3077, od kojih je jedan bio ranije detektovan i u radio i u X-području (Leonidaki et al. 2013).

Ovde pominjemo i Garland, deo galaksije NGC 3077 koji se nalazi istočno od njenog centra, nastao najverovatnije plimskim uticajem galaksija u ovoj interagujućoj grupi. Posmatranja neutralnog vodonika radio-interferometrom VLA ukazuju da je 90% vodonika u čitavoj galaksiji NGC 3077 smešteno upravo u ovom regionu (Walter et al. 2002). Takođe, postoje navodi da među 150 obližnjih galaksija Garland ima najveću SFZ spram svoje luminoznosti (Karachentsev & Kaisin 2007). Iz pomenu-tih razloga, u okviru rada na ovoj disertaciji, Anđelić sa saradnicima je posmatrala Garland sa NAO Rožen kako bi se detektovali OSN, ali bez uspeha (Anđelić et al. 2011).

Ukupan $H\alpha$ fluks 24 optička OSN u galaksiji NGC 3077 je 2.47×10^{-13} erg cm⁻² s⁻¹ (Leonidaki et al. 2013).

6.3.9 NGC 7793

NGC 7793 je članica grupe galaksija Vajar, na udaljenosti od 3.91 Mpc i sa inklinacijom od $\sim 50^\circ$ (Tully 1988). Spiralna struktura ove galaksije je skoro pa izgubljena zbog postojanja velikog broja H II regiona i regiona aktivnog formiranja zvezda, kao u galaksiji M82. Populacija OSN u NGC 7793 je dobro proučena u optičkom, radio i X-području, i sastoji se od ukupno 32 (potencijalna) OSN (Blair & Long 1997; Pannuti et al. 2002, 2011). Prvobitno su Blair i Long detektovali 28 optičkih OSN (Blair & Long 1997). Potom je Panuti sa saradnicima detektovao pet novih radio-OSN teleskopom VLA, i našao dva objekta koji su se poklapali sa već poznatim optičkim OSN iz rada Blera i Longa (Pannuti et al. 2002; Blair & Long 1997). Panuti sa saradnicima je takođe u arhivskim snimcima teleskopa ROSAT tražio OSN u X-području, ali bez uspeha. Ovde treba imati na umu da je potraga za OSN na ovim talasnim dužinama otežana zbog značajnog prisustva difuznog X-zračenja u galaksiji NGC 7793. Kasnije, kada su podaci u X-području poboljšani posmatranjima sa opservatorije Čandra, detektovan je samo jedan OSN, optički OSN S11 iz rada Blera i Longa, koji je bio detektovan i u radio-području (Blair & Long

1997). Još jedan interesantan objekat u ovoj galaksiji je u literaturi predstavljen kao kandidat za OSN - S26 (nomenklatura je iz rada Blair & Long 1997), za koji se ispostavilo da je mikrokvazar, sa emisionom maglinom koja ga okružuje (Pakull et al. 2010; Soria et al. 2010; Dopita et al. 2012). Ovaj mikrokvazar sa maglinom je dijametra od čak 260 pc, ima visok odnos $[S II]/H\alpha$, vrlo je sjajan u liniji $H\alpha$ i svakako ne predstavlja objekat na osnovu koga bi se određivala stopa formiranja zvezda.

Ukupni fluks 26 optičkih kandidata za OSN u galaksiji NGC 7793 iznosi 2.76×10^{-13} erg cm⁻² s⁻¹ (Blair & Long 1997).

6.3.10 NGC 4449

NGC 4449 je nepravilna galaksija, sa nekoliko regiona u kojima se aktivno formiraju zvezde, uključujući jezgro galaksije i prečku. U ovoj galaksiji se nalazi od ranije poznat ostatak supernove, veoma sličan Galaktičkom ostatku Kasiopeja A, a koji je do sada dobro proučavan i posmatran u više opsega (optički: Balick & Heckman 1978; Blair, Kirshner & Winkler 1983; X-zraci: Patnaude & Fesen 2003; radio-područje: Seaquist & Bignell 1978; Lacey, Goss & Mizouni 2007). Do nedavno ovo je bio jedini optički detektovani OSN u ovoj galaksiji, dok Leonidaki sa saradnicima nije detektovala još dodatnih 69 optičkih OSN (Leonidaki et al. 2013). U radio-području posmatrano je 7 OSN, koji su svi potvrđeni i optički (Chomiuk & Wilcots 2009). Na osnovu posmatranja sa teleskopa Čandra dva izvora su predložena za OSN, dok je osam klasifikovano kao OSN ili X-dvojni sistem (Summers et al. 2003). Na osnovu istih posmatranja u X-području, Leonidaki sa saradnicima je izdvojila četiri objekta kao potencijalne OSN, koji su kasnije detektovani i u optičkom području (Leonidaki et al. 2010, 2013).

Ukupni $H\alpha$ fluks 70 optičkih OSN u galaksiji 4449 je 1.19×10^{-12} erg cm⁻² s⁻¹ (Leonidaki et al. 2013).

6.3.11 M83

M83 je velika spiralna galaksija, u kojoj se aktivno odvija formiranje zvezda. Njena orijentacija licem nam daje detaljan uvid u strukturu ove galaksije i mogućnost praćenja rađanja i umiranja zvezda. Ova galaksija ima zabeleženih šest eksplozija supernovih u poslednjih 100 godina, što je po broju supernovih odmah iza galaksije NGC 6946 (Barbon et al. 1999). Idealna orijentacija i aktivno formiranje zvezda su jedan od razloga što je ova galaksija intenzivno posmatrana kako bi se pronašli optički OSN, i trenutno broji najviše detektovanih takvih objekata. Bler i Long su prvi koji su posmatrali M83 kako bi detektovali optičke OSN (Blair & Long 2004). Koristili su četvorometarski teleskop na opservatoriji CTIO u Čileu (eng. *Cerro Tololo Inter-American Observatory*) i detektovali su 71 OSN. Među svojim optičkim OSN, pronašli su 15 čije koordinate su se poklopile sa ranije detektovanim OSN u X-području (Soria & Wu 2003). U radio-području, M83 su teleskopom VLA posmatrali Medoks i saradnici koji su našli preklapanje između dva svoja objekta i dva optička OSN iz rada Blera i Longa (Maddox et al. 2006; Blair & Long 2004). Nešto kasnije, Dopita sa saradnicima je koristeći širokougaonu kameru (eng. *Wide Field Camera*) na HST detektovao 60 OSN (Dopita et al. 2010a). Od ovih 60 OSN, jedan je najverovatnije ostatak SN 1968L, 40 OSN je detektovano upotrebom kriterijuma [S II]/H α , dok je preostalih 19 OSN detektovano u jezgru galaksije ($R < 300$ pc), na osnovu pojačane emisije u liniji [O II], i za svega četiri OSN u jezgru su izmereni H α fluksevi. Najznačajniji doprinos povećanju broja OSN u galaksiji M83 dali su Bler i saradnici (Blair et al. 2012, 2013). Oni su celu galaksiju posmatrali 6.5-metarskim teleskopom Magelan, u izuzetno povoljnim vremenskim uslovima, i sa veoma dugom ekspozicijom od 70 minuta za svaki filter. Detektovali su 225 OSN u kasnijim fazama evolucije, koji mogu biti detektovani tehnikom [S II]/H α , uz dodatnih 33 objekta sa pojačanom emisijom u [O III] liniji, koji su najverovatnije OSN u fazi slobodnog širenja. Takođe, potvrdili su sve sem tri OSN iz rada Blera i Longa, i 25 od 40 OSN u disku galaksije iz rada Dopite sa saradnicima (Blair & Long 2004; Dopita et al. 2010a). U svom radu, Bler sa saradnicima je za 65 OSN u kasnijoj fazi evolucije pronašao odgovarajuće izvore u X-području, kao i za pet OSN u fazi

slobodnog širenja (Blair et al. 2012). Nedavno je Blair sa saradnicima objavio nova posmatranja galaksije M83 izvršenih svemirskim teleskopom Hubble, kojim je detektovano 26 novih kandidata za OSN (Blair et al. 2014). U svakom od prethodno pomenutih radova (Blair & Long 2004; Dopita et al. 2010a; Blair et al. 2012; Blair et al. 2014) pored detekcije objekata data je i detaljna analiza fizičkih i statističkih parametara ostataka supernovih u galaksiji M83.

U galaksiji M83, 296 OSN ima izmerene $H\alpha$ flukseve. Blair sa saradnicima je detektovao 225 OSN koji su u kasnijoj fazi evolucije i 33 u fazi slobodnog širenja (Blair et al. 2012). Dopita sa saradnicima je na već poznate OSN dodao 12 OSN koji se nalaze u disku i 4 u jezgu galaksije (Dopita et al. 2010a), a Blair sa saradnicima još 22 OSN (Blair et al. 2014). Ukupan $H\alpha$ fluks svih OSN u M83 je $6.39 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

6.3.12 NGC 4395

NGC 4395 je nepravilna zvezdorodna galaksija, koja u sebi ima Sejfertovo (eng. *Seyfert*) aktivno galaktičko jezgro tipa 2. U ovoj galaksiji se nalazi potencijalni ostatak supernove detektovan u radio-području na osnovu svog netermalnog radio-spektra, a njegove koordinate se takođe poklapaju sa H II regionom iz rada Roja sa saradnicima (Roy et al. 1996; Sramek 1992; Vukotić et al. 2005). Nažalost, ovaj objekat nije bio u vidnom polju X-teleskopa Čandra, na osnovu čijih posmatranja su dva objekta u ovoj galaksiji klasifikovana kao mogući OSN (Leonidaki et al. 2010). U optičkom području u ovoj galaksiji se nalazi 47 potencijalnih OSN, mada nije posmatrana površina cele galaksije (Leonidaki et al. 2013). Od ovih 47 kandidata, jedan se poklapa sa jednim X-OSN, dok je drugi X-OSN bio van vidnog polja optičkih posmatranja.

Ukupni $H\alpha$ fluks 47 optičkih OSN u galaksiji NGC 4395 je $2.66 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Leonidaki et al. 2013).

6.3.13 NGC 5204

NGC 5204 je nepravilna galaksija, članica grupe galaksija M101. U literaturi možemo pronaći da je u ovoj galaksiji najviše proučavan ULX izvor NGC 5204 X-1, koji se nalazi u blizini centra galaksije. U ovoj galaksiji, ostaci supernovih su detektovani samo u vidljivoj svetlosti. Prvobitno su Matonik i Fesen detektovali tri OSN, a potom je Leonidaki sa saradnicima potvrdila ova tri OSN i dodala još 33 potencijalna OSN (Matonick & Fesen 1997; Leonidaki et al. 2013). Leonidaki sa saradnicima je u ovoj galaksiji tražila ostatke supernovih i u X-području u arhivskim snimcima teleskopa Čandra, ali je ta potraga bila neuspešna (Leonidaki et al. 2010).

Ukupni $H\alpha$ fluks 36 optičkih OSN u galaksiji NGC 5204 je 2.32×10^{-13} erg cm^{-2} s^{-1} (Leonidaki et al. 2013).

6.3.14 NGC 5585

NGC 5585 je spiralna galaksija u grupi galaksija M101. Jedini koji su proučavali ostatke supernovih u ovoj galaksiji su bili Matonik i Fesen (Matonick & Fesen 1997). Oni su detektovali pet optičkih OSN, od kojih je jedan, SNR 1, interesantan objekat velikih dimenzija (200×90 pc). Ovaj OSN je sličan već pomenutom mikrokvazaru S26 u galaksiji NGC 7793, iako je upola manji. Nažalost, nije bilo dodatnih posmatranja koja bi razotkrila prirodu ovog objekta.

Ukupni $H\alpha$ fluks pet optičkih OSN u galaksiji NGC 5585 je 6.78×10^{-14} erg cm^{-2} s^{-1} (Matonick & Fesen 1997).

6.3.15 NGC 6946

NGC 6946 je bliska spiralna galaksija u kojoj se nalazi umereno zvezdorodno jezgro (Turner & Ho 1983). Ova galaksija je interesantna za potragu za OSN zbog toga što je u njoj zabeleženo devet eksplozija supernovih (Barbon et al. 2010). Prvi OSN detektovan u NGC 6946 je bio MF 16 (nomenklatura je iz Matonick & Fesen 1997), detektovan X-teleskopom ROSAT (Schlegel 1994). Usledila je i njegova optička detekcija (Blair & Fesen 1994). Matonik i Fesen su u celoj galaksiji zabeležili 27 optičkih OSN (Matonick & Fesen 1997). Iste godine je objavljena i VLA radio-

detekcija potencijalnih 37 OSN (Lacey, Duric & Goss 1997). Panuti sa saradnicima je tražio odgovarajuće X-objekte za prethodno poznate OSN u NGC 6946, i našao je podudaranje sa šest radio-OSN (Pannuti et al. 2007).

Zbog velikih dimenzija (> 100 pc) i izuzetno jakog X-zračenja objekta MF 16, značajan broj radova se bavio tematikom razotkrivanja njegove prirode. Na osnovu posmatranja sa HST u uskim filerima, jedna od pretpostavki je da je ovaj objekat posledica nekoliko eksplozija supernovih, koje su se desile blizu, i vremenski i prostorno (Blair, Fesen & Schlegel 2001). Druga pretpostavka, na osnovu posmatranja teleskopom Čandra, podrazumeva da izuzetno jaka X-luminoznost potiče od akrecije na crnu rupu u dvojnog sistema i da je MF 16 ULX izvor.

Ukupni $H\alpha$ fluks 26 optičkih OSN u galaksiji NGC 6946 je 1.28×10^{-13} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ (Matonick & Fesen 1997).

6.3.16 M101

M101 je velika spiralna galaksija okrenuta licem (inklinacije oko 22°) na udaljenosti od 6.7 Mpc. Ostaci supernovih u ovoj galaksiji su bili intenzivno izučavani u optičkom i X-području. Prvo su Matonick i Fesen, posmatravši u pet vidnih polja kako bi se pokrila cela galaksija, detektovali 93 optička OSN (Matonick & Fesen 1997). Prethodno je bio poznat jedan potencijalni radio-OSN, NGC 5471B, koji se nalazi u jednom ogromnom H II regionu (Skillman 1985; Sramek & Weedman 1986; Yang, Skillman & Sramek 1994). Panuti sa saradnicima je tražio odgovarajuće X-izvore poznatim optičkim OSN iz rada Matonicka i Fesena (Pannuti et al. 2007; Matonick & Fesen 1997). Njihova posmatranja su pokrila oblast u kojoj su se nalazila 44 optička OSN, a samo šest je bilo vidljivo i u X-području. Poslednji rad o OSN u galaksiji M101 je iskoristio arhivske snimke sa HST kako bi se napravila detaljnija analiza fizičke strukture i prirode pojedinačnih objekata (Franchetti et al. 2012). Sa svemirskim teleskopom Hubble je uspešno identifikovano 55 od 93 prethodno poznata optička OSN (iz Matonick & Fesen 1997). Na osnovu slika sa HST utvrđeno je da su 10 od ovih 55 objekata supermehuri, dok su dodatnih 10 objekata OB asocijacije ili H II regioni. Takođe, u istom radu je iskorišćen mozaik galaksije M101 napravljen kombinovanjem snimaka dugih ekspozicija načinjenim X-teleskopom Čandra (Kuntz

& Snowden 2010), kako bi se pronašli potencijalni X-izvori koji odgovaraju optičkim OSN. Pokazalo se da se 21 od 55 ostataka supernovih koji su detektovani sa HST vide i na X-talasnim dužinama, dok od 38 OSN koje su detektovali samo Matonick i Fesen, njih 11 ima odgovarajuće X-objekte (Matonick & Fesen 1997).

Konačno, u proceni ukupnog $H\alpha$ fluksa OSN u galaksiji M101, kombinovaćemo zračenje 38 OSN iz rada Matonika i Fesena i 35 OSN iz rada Franchetija sa saradnicima (Matonick & Fesen 1997; Franchetti et al. 2012). Ukupni $H\alpha$ fluks 73 optička OSN je $3.46 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

6.3.17 M74

M74 (NGC 628) je licem okrenuta spiralna galaksija na udaljenosti od 7.3 Mpc. Ona je najsjajniji član male grupe galaksija M74. U ovoj galaksiji su proučavani procesi formiranja zvezda (Leievre & Roy 2000; Elmegreen et al. 2006). Takođe, u galaksiji M74 su zabeležene čak tri eksplozije supernovih u poslednjih 14 godina. Sonbas sa saradnicima je u ovoj galaksiji detektovao devet optičkih OSN (Sonbas et al. 2010). Pre toga, M74 je posmatrana u X-području i to teleskopima Čandra i XMM-Njutn (Soria, Pian & Mazzali 2004). Tri potencijalna optička OSN imaju odgovarajuće X-izvove.

Ukupni $H\alpha$ fluks devet optičkih OSN u galaksiji M74 je $1.05 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Sonbas et al. 2010).

6.3.18 NGC 2903

NGC 2903 je spiralna galaksija sa prečkom, koja se nalazi na udaljenosti od 8.9 Mpc. Ova galaksija je poznata i kao galaksija „Žarište”, zbog brojnih sjajnih žarišta u jezgru galaksije za koje se veruje da predstavljaju OB asocijacije ili zvezdana jata (Sersic 1973). Jedinu potragu za OSN u ovoj galaksiji su izvršili Sonbas i saradnici (Sonbas et al. 2009). Oni su detektovali pet optičkih OSN. Prethodno je jedan od sedam objekata detektovanih na osnovu VLA radio-posmatranja, rezolucije ispod jedne lučne sekunde, obeležen kao potencijalni OSN (Tsai et al. 2006).

Ukupni $H\alpha$ fluks pet optičkih OSN u galaksiji NGC 2903 je $5.88 \times 10^{-14} \text{ erg}$

$\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Sonbas et al. 2009).

6.4 Diskusija

U prethodnom poglavlju smo dali pregled dosadašnje detekcije optičkih OSN u bliskim galaksijama, uz napomene o detekciji OSN i u drugim delovima elektromagnetnog spektra, a posebno u radio i X-području. U uzorku galaksija koji ćemo detaljnije razmotriti, izabrali smo one galaksije koje su celokupno, ili bar svojim delom, bile ciljano posmatrane kako bi se detektovali optički OSN. Iz uzorka je izuzeta patuljasta galaksija NGC 185, iako je svojim većim delom posmatrana sa ciljem detekcije OSN. U NGC 185 su detektovana dva kandidata za OSN, ali za galaksiju u literaturi nismo našli objavljen ukupni $H\alpha$ fluks. U odeljku 5.2.2, pored detalja vezanih za detekciju OSN u ovoj galaksiji, diskutujemo i pitanje kontaminacije ukupnog $H\alpha$ fluksa galaksije zračenjem izvora koji nisu indikatori formiranja zvezda.

U tabeli 6.2 prikazali smo broj i ukupan $H\alpha$ fluks optičkih OSN u svakoj galaksiji iz uzorka. Kenikata sa saradnicima je objavio “ $H\alpha$ pregled okolnih galaksija do udaljenosti od 11 Mpc” (eng. „*An $H\alpha$ imaging survey of galaxies in the local 11 Mpc volume*”), u kome smo pronašli $H\alpha$ flukseve za svih 18 galaksija u uzorku (Kennicutt et al. 2008). Na osnovu ukupnog $H\alpha$ fluksa galaksije se može proceniti stopa formiranja zvezda u toj galaksiji (prema izrazima 3.2 ili 3.3). Fluksevi dati u radu Kenikata sa saradnicima su korigovani za Galaktičku ekstinkciju i $[N II]$ kontaminaciju. U tabeli 6.2 su navedene vrednosti ovih korekcija korišćene u radu Kenikata i saradnika (Kennicutt et al. 2008). Primenili smo iste korekcije i na flukseve OSN koje smo preuzeli iz literature. U slučajevima kada su $H\alpha$ fluksevi OSN originalno već bili korigovani za pomenute ekstinkcije, vrednosti korekcija su preračunate kako bi fluksevi galaksija i OSN bili na isti način popravljani, koristeći vrednosti za Galaktičku ekstinkciju i kontaminaciju linijama $[N II]$ preuzetu iz rada Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008). Da bismo uklonili kontaminaciju linijama $[N II]$, koristili smo odnos $[N II]\lambda\lambda 654.8, 658.3/H\alpha$ preuzet iz rada Kenikata sa saradnicima prema proceduri prikazanoj u odeljku 5.2.1, koja uzima u obzir odnose intenziteta linija, kao i različitu propusnost filtera na mestu svake od ove tri

emisione linije (Kennicutt et al. 2008). Ekstinkcija koju vrši matična galaksija nije razmatrana niti korigovana u našem radu u okviru ove disertacije.

Unosi u tabeli 6.2 su sledeći: Kolona (1): ime galaksije, kao u tabeli 6.1. Kolona (2): broj optički detektovanih OSN u galaksiji, koji imaju izmerene $H\alpha$ flukseve. Kolona (3): deo ukupne površine galaksije koji je posmatran kako bi se detektovali optički OSN, izražen u procentima. Kolona (4): $H\alpha$ fluks optički detektovanih OSN, korigovan za Galaktičku ekstinkciju i kontaminaciju linijama $[N II]$, na način kao što je urađeno u radu Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008). Kolona (5): relativna greška $H\alpha$ fluksa optičkih OSN, data u literaturi. Za galaksije za koje nisu objavljene procene grešaka, u tabeli se nalazi kosa crta. Kolona (6): $H\alpha$ luminoznost optički detektovanih OSN, korigovna za Galaktičku ekstinkciju i $[N II]$ kontaminaciju, kao u radu Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008). Kolona (7): odnos linija $[N II]\lambda\lambda 654.8, 658.3/H\alpha$ (suma obe komponente $[N II]$), preuzet iz rada Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008). Kolona (8): Galaktička ekstinkcija u B filteru, korišćena u radu Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008). Ekstinkcija u $H\alpha$ filteru se dobija kao $A_{H\alpha} = 0.6A_B$. Kolona (9): ukupni $H\alpha$ fluks galaksije. Fluks je dobijen na osnovu ukupne $H\alpha$ luminoznosti i udaljenosti prikazanih u tabelama 2 i 3 u radu Kenikata sa saradnicima (Kennicutt et al. 2008). Medijana relativne greške ovih preuzetih flukseva je 12%. Kolona (10): ukupna $H\alpha$ luminoznost galaksije. Kolona (11): procenat $H\alpha$ fluksa OSN u odnosu na $H\alpha$ fluks galaksije – R . Kako je SFZ direktno proporcionalna $H\alpha$ luminoznosti (i fluksu) (videti jednačinu 3.2), ovaj procenat takođe predstavlja relativnu grešku sa kojom se SFZ dobija kada se $H\alpha$ fluks OSN ne ukloni iz ukupnog $H\alpha$ fluksa galaksije. Kolona (12): Relativna greška za R . Dobija se sumom relativnih grešaka $H\alpha$ flukseva OSN i galaksije. Kolona (13): reference iz kojih su preuzeti $H\alpha$ fluksevi optički detektovanih OSN.

U tabeli 6.2 možemo videti da se procenat emisije u liniji $H\alpha$ koja potiče od OSN u odnosu na ukupan $H\alpha$ fluks galaksije, kreće u rasponu 0.1–13% (slična tabela je data u radu Vučetić et al. 2015a). Iz kolone (11) tabele 6.2 vidimo da je šest od sedam galaksija sa najvećim procentom R iz rada Leonidaki sa saradnicima, kao i da su vrednosti u opsegu 5–13% (Leonidaki et al. 2013). Činjenica da šest od

Tabela 6.7: Naš uzorak galaksija sa optičkim OSN.

Ime galaksije	Broj optičkih površine OSN galaksije	Deo	F_{OSN} [erg cm ⁻² s ⁻¹] × 10 ⁻¹⁴	δF_{OSN} [%]	L_{OSN} [erg s ⁻¹] × 10 ³⁸	[N II]/H α^*	A_{B}^* [mag]	F_{gal}^* [erg cm ⁻² s ⁻¹] × 10 ⁻¹²	L_{gal}^* [erg s ⁻¹] × 10 ³⁹	R [%]	δR [%]	Ref.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
M31	156	1	371.9	/	2.8	0.54	0.18	360.4	26.9	1.0	12	1
M33	199	1	516.8	/	4.4	0.27	0.18	383.0	32.4	1.3	12	2
NGC 300	22	1	23.1	22	1.1	0.2	0.06	31.6	15.1	0.7	34	3
NGC 4214	92	1	178.0	2	18.2	0.16	0.05	15.2	15.5	11.7	14	4
NGC 2403	150	0.88	620.7	1	77.0	0.29	0.17	48.6	60.3	12.8	13	4,5
M82	10	0.07	2.7	5	0.4	0.3	0.4	78.8	117.5	0.1	17	6
M81	41	1	18.8	/	3.0	0.51	0.24	37.3	58.9	0.5	12	7
NGC 3077	24	1	28.3	6	5.0	0.38	0.25	5.5	9.5	5.2	18	4
NGC 7793	27	1	28.8	/	5.3	0.25	0.08	20.8	38.0	1.4	12	8
NGC 4449	71	1	121.6	2	25.8	0.23	0.04	24.2	51.3	5.0	14	4
M83	296	1	653.0	/	156.0	0.53	0.21	74.4	177.8	8.8	12	9,10,11
NGC 4395	47	0.73	27.2	3	6.9	0.19	0.04	4.5	11.5	6.0	15	4
NGC 5204	36	1	23.6	4	6.1	0.13	0.03	3.1	8.1	7.5	16	4
NGC 5585	5	1	6.9	/	2.7	0.18	0.03	2.1	8.1	3.3	12	7
NGC 6946	26	0.95	12.1	/	5.0	0.54	1.54	69.2	288.4	0.2	12	7
M101	73	0.98	35.0	/	19.2	0.54	0.02	39.8	213.8	0.8	12	7,12
M74	9	0.83	9.4	/	6.0	0.4	0.21	11.6	74.1	0.8	12	13
NGC 2903	5	1	4.9	/	4.6	0.56	0.1	12.4	117.5	0.4	12	14

* Iz rada Kennicutt et al. (2008).

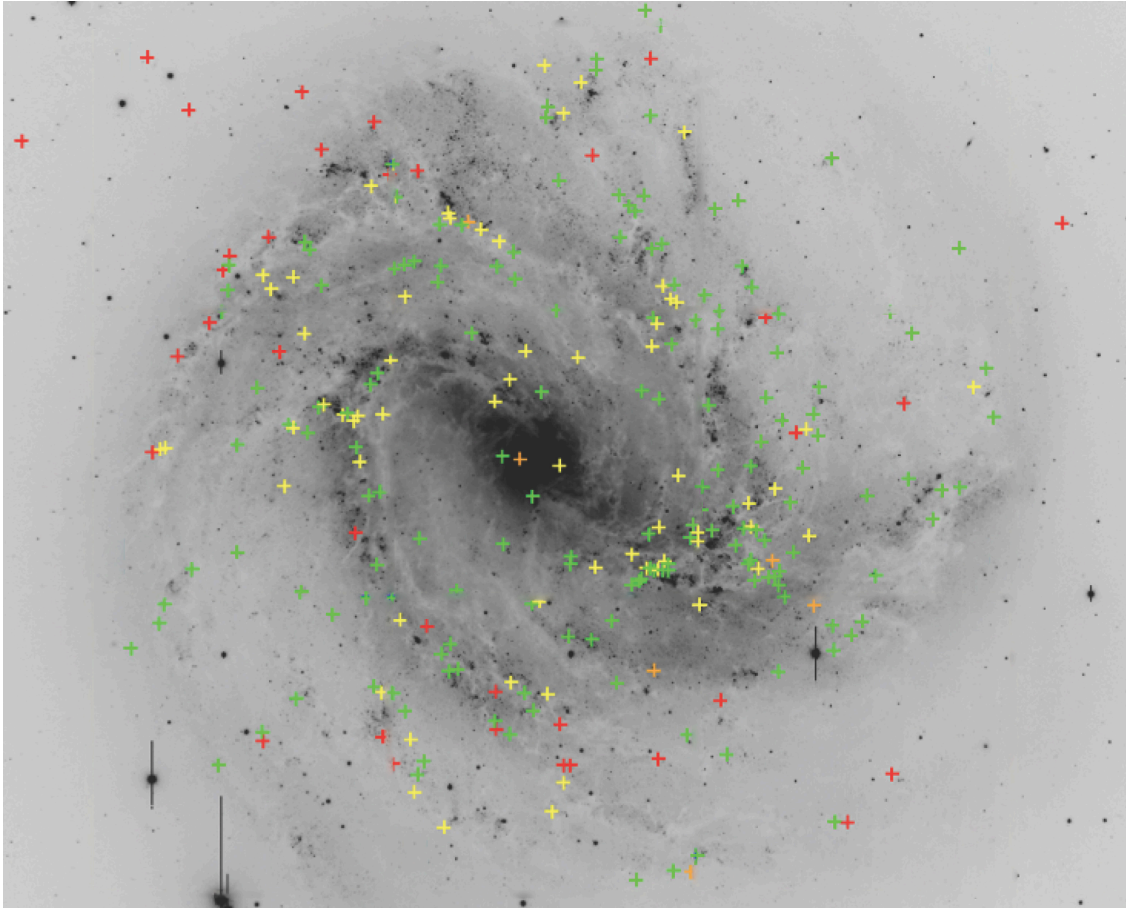
REFERENCE: [1] Lee & Lee 2014a; [2] Lee & Lee 2014b; [3] Millar et al. 2011; [4] Leonidaki et al. 2013; [5] Matonick et al. 1997; [6] de Grijs et al. 2000; [7] Matonick & Fesen 1997; [8] Blair & Long 1997; [9] Dopita et al. 2010a; [10] Blair et al. 2013; [11] Blair et al. 2014 [12] Franchetti et al. 2012; [13] Sonbas et al. 2010; [14] Sonbas et al. 2009.

sedam galaksija sa najvećim R dolazi iz rada jedne grupe autora, unosi izvesnu dozu sumnje u pouzdanost njihovih podataka. Može biti da je ovako visok stepen efikasnosti detekcije OSN od strane Leonidaki i saradnika posledica upotrebe nešto blažeg kriterijuma: $[S II]/H\alpha > 0.3$ (Leonidaki et al. 2013). Ovaj niži kriterijum je koristio i Dopita sa saradnicima prilikom detekcije OSN u galaksiji M83 (Dopita et al. 2010a). Ovde skrećemo pažnju i da je Leonidaki sa saradnicima detektovala 150 OSN u galaksiji NGC 2403 (Leonidaki et al. 2013), dok je Matonik sa saradnicim detektovao svega 35 (Matonick et al. 1997). Kada uporedimo korišćene teleskope i dužinu ekspozicije, bilo bi za očekivati da je Matonik sa saradnicima mogao dostići čak duplo bolju efikasnost detekcije OSN u odnosu na Leonidaki sa saradnicima, mada treba imati na umu da su prethodno korišćene CCD kamere imale značajno nižu kvantnu efikasnost detekcije u odnosu na današnje instrumente. Takođe, treba naglasiti i da je Matonik sa saradnicima koristio nešto oštrij kriterijum za detekciju optičkih OSN, i to $[S II]/H\alpha > 0.45$ (Matonick et al. 1997). Ako bi se ovaj kriterijum primenio na kandidate za OSN iz rada Leonidaki sa saradnicima, bilo bi 85 njih koji bi imali $[S II]/H\alpha > 0.45$ (Leonidaki et al. 2013). Još jedna stvar koja je sigurno dovela da velikog broja detektovanih OSN u radu Leonidaki sa saradnicima je i to što su oni za kriterijum detekcije objekata uzimali nisku granicu od $1.3-3.5\sigma$ iznad nivoa pozadine (Leonidaki et al. 2013). Podsetimo, prilikom detekcije OSN u galaksiji IC342, uzimali smo granicu od 2.5σ iznad pozadine (Vučetić et al. 2015b).

Galaksija M83 je sa $R = 9\%$ treća u nizu galaksija sa najvećim procentom emisije u liniji $H\alpha$ koja potiče od OSN. U M83 je posmatrano najviše optičkih OSN (296), i ona je galaksija sa najbolje uzorkovanim optičkim OSN. Ovo je očekivano, pošto je M83 posmatrana sa 4-metarskim teleskopom na opservatoriji CTIO (Blair & Long 2004), zatim sa HST (Dopita et al. 2010a; Blair et al. 2014), kao i sa 6.5-metarskim teleskopom Magelan, sa veoma dugim ekspozicijama (Blair et al. 2012). Zbog svega navedenog, smatramo da bi procenat emisije OSN u liniji $H\alpha$ u M83 u odnosu na ukupnu emisiju ove galaksije, mogao biti vrednost koja je približna stvarnom udelu zračenja OSN u odnosu na ukupno $H\alpha$ zračenje spiralnih galaksija.

Ovde naglašavamo da smo u našoj proceni $H\alpha$ fluksa koji potiče od OSN uzeli u obzir objekte koji su označeni kao potvrđeni OSN (bilo spektroskopski, bilo po-

smatranjima na drugim talasnim dužinama), ali i one objekte koji su kandidati za OSN, koji su klasifikovani samo na osnovu optičkih fotometrijskih posmatranja. Na ovaj način smo najverovatnije procenili procenat R , ako uzimemo u obzir mogućnost postojanja brojnih lažnih identifikacija kandidata za OSN.



Slika 6.14: Prostorna raspodela optičkih OSN u galaksiji M83. Na slici galaksije kroz V filter su plusevima obeleženi položaji OSN, gde boje predstavljaju: žuta - OSN u radijativnoj fazi, detektovani i u X-području; zelena - OSN u radijativnoj fazi, koji nisu detektovani u X-području; narandžasta - OSN koji su detektovani na osnovu jake emisije u liniji [O III]. (Preuzeto iz Blair & Long 2012.)

U koloni (3) tabele 6.2 predstavljeno je koliki deo površine galaksije je pokriven posmatranjima prilikom detekcije OSN. Većina galaksija iz uzorka je cela isposmatrana, četiri galaksije su posmatrane sa više od 80%, dok je jedino u galaksiji M82 posmatran samo mali deo diska. Kod galaksija kojima samo mali deo površine nije posmatran, delovi koji nisu posmatrani su spoljašnji. Ako pretpostavimo da super-

nove prate radijalnu raspodelu gasa i prašine u galaksiji (kao u radu Hatano, Branch & Deaton 1998), onda možemo očekivati da će broj supernovih, kao i broj njihovih ostataka, brzo opadati kako se udaljavamo od centra galaksije. Ovakvu raspodelu OSN vidimo i u galaksiji M83, na slici 6.1. Samim tim, možemo očekivati da usled toga što spoljašnji delovi galaksije nisu posmatrani, nećemo imati značajnu promenu u broju OSN i njihovom $H\alpha$ fluksu, u odnosu na slučaj kada bi cela površina galaksije bila pokrivena posmatranjima. U slučaju galaksije M82 ova promena bi bila značajna, ali je zbog velike unutrašnje ekstinkcije u ovoj galaksiji teško proceniti koliko OSN bi bilo detektovano kada bi cela galaksija bila posmatrana.

Još jedno značajno pitanje koje diskutujemo ovde je na koji način porediti podatke prikupljene u različitim studijama, posmatranjima različitih galaksija koja nisu istih osetljivosti. Da bismo diskutovali kompletnost uzorka OSN unutar galaksije, treba da pretpostavimo nekakvu raspodelu OSN po fluksevima ili luminoznostima. Izabraćemo da razmatramo raspodelu po luminoznostima, kako bismo mogli da upoređujemo uzorke OSN na različitim udaljenostima. Ako pretpostavimo da je ova raspodela log-normalna, tj. normalna (Gausova) u logaritamskoj skali:

$$F(L) = \frac{N^*}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln L - \mu)^2 / (2\sigma^2)}, \quad (6.34)$$

onda iz fitovanja podataka na ovakvu raspodelu možemo da procenimo broj nedostajućih OSN, $N^* - N$, gde su N^* i N korigovan broj, odnosno originalan broj detektovanih OSN, respektivno. U jednačini (6.1) $\mu = \ln L_m$ prirodni logaritam luminoznosti koja odgovara srednjoj vrednosti, a σ je standardna devijacija normalne raspodele.

Uobičajeno je da se pretpostavi da je uzorak kompletan za visoke vrednosti flukseva (ili luminoznosti), sve do maksimuma u raspodeli (Matonick & Fesen 1997; Leonidaki et al. 2013). Očekivano je da ćemo detektovati sve sjajne i luminozne objekte, ali može se desiti da nam promaknu neki rasprostrti objekti malog površinskog sjaja, ali ipak velike luminoznosti. Međutim, pretpostavićemo da su ovakvi objekti retki. Stoga smo fitovali samo desnu stranu posmatrane raspodele $N - \ln L$, isključujući lokalne minimume i vrednosti raspodele koje su niže nego odgovarajuće vrednosti sa leve strane maksimuma, a pri tom smo fiksirali maksimalnu vrednost raspodele

Tabela 6.8: Posmatrane karakteristike i korigovani parametri raspodele OSN po luminoznostima u uzorku galaksija. Broj detektovanih OSN u svakoj galaksiji je N , a N^* i ΔN^* su korigovani broj OSN i njegova greška, dobijeni iz fitovanja raspodele Gausovom funkcijom. Najmanja posmatrana luminoznost jednog OSN je L_o , a L_m je luminoznost koja odgovara maksimumu raspodele. Standardna devijacija normalne raspodele je σ , a njena greška $\Delta\sigma$. Izmerena ukupna luminoznost OSN u galaksiji je L_{OSN} , a L^* je odgovarajuća korigovana vrednost. Udeo $H\alpha$ luminoznosti OSN u ukupnoj $H\alpha$ luminoznosti galaksije je R , a njegova korigovana vrednost je R^* .

Galaksija	N	N^*	ΔN^*	$\ln L_o$	$\ln L_m$	σ	$\Delta\sigma$	$L_{OSN} [\text{erg s}^{-1}]$	$L^* [\text{erg s}^{-1}]$	R	R^*
M31	156	181	6	79.51	82.75	1.26	0.05	2.76×10^{38}	3.47×10^{38}	1.03	1.29
M33	199	237	12	79.93	83	1.15	0.12	4.40×10^{38}	5.12×10^{38}	1.34	1.58
M81	41	64	3	82.89	83.5	1.55	0.07	2.99×10^{38}	3.90×10^{38}	0.50	0.66
M83	296	355	10	82.12	86	1.27	0.07	1.56×10^{40}	1.78×10^{40}	8.78	10.00
M101	73	80	4	82.61	85.5	1.12	0.05	1.91×10^{39}	2.03×10^{39}	0.88	0.95
NGC 300	22	29	2	82.43	83.5	1.42	0.09	1.11×10^{38}	1.46×10^{38}	0.73	0.96
NGC 2403	150	151	3	84.06	86.5	0.88	0.03	7.71×10^{39}	8.20×10^{39}	12.77	13.60
NGC 3077	24	25	1	84.87	85.75	0.53	0.01	4.96×10^{38}	5.01×10^{38}	5.18	5.24
NGC 4214	92	98	4	83.28	85	0.88	0.04	1.82×10^{39}	1.19×10^{39}	11.71	7.66
NGC 4395	47	47	2	84.25	85.5	0.65	0.02	6.88×10^{38}	7.87×10^{38}	6.02	6.86
NGC 4449	71	77	6	84.73	86	0.79	0.08	2.57×10^{39}	2.35×10^{39}	5.03	4.58
NGC 5204	36	42	2	84.56	85.5	0.69	0.03	6.12×10^{38}	7.22×10^{38}	7.50	8.89
NGC 6946	26	28	1	83.63	85.5	0.92	0.03	5.05×10^{38}	5.80×10^{38}	0.17	0.20
NGC 7793	27	31	4	83.42	85.5	0.99	0.11	5.30×10^{38}	6.86×10^{38}	1.39	1.80

$\ln L_m$. Na ovaj način smo mogli da obradimo samo 14 galaksija iz našeg uzorka, koje su imale dovoljno posmatranih OSN da bi se konstituisala sama raspodela po luminoznostima. Rezultati su prikazani na slici 6.2 i u tabeli 6.3. Kada smo fitovanjem raspodela $N - \ln L$ dobili parametre N^* i σ , možemo dobiti korigovanu ukupnu luminoznost OSN, koja je u stvari srednja vrednost log-normalne raspodele

$$L^* = \int_0^\infty L f(L) dL = N^* \cdot e^{\mu + \sigma^2/2}, \quad (6.35)$$

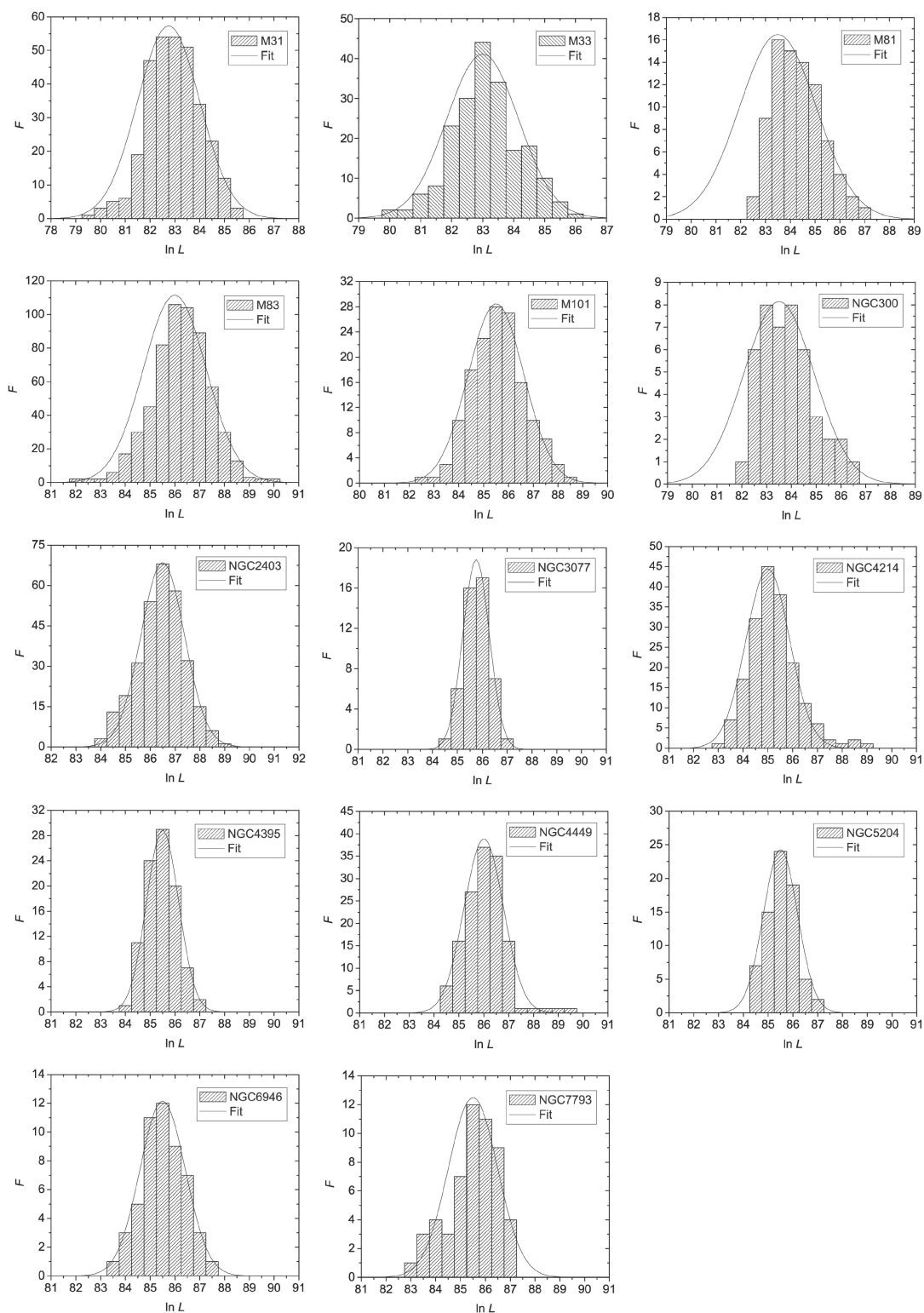
gde je

$$f(L) = \frac{N^*}{\sigma \sqrt{2\pi L}} e^{-(\ln L - \mu)^2 / (2\sigma^2)}. \quad (6.36)$$

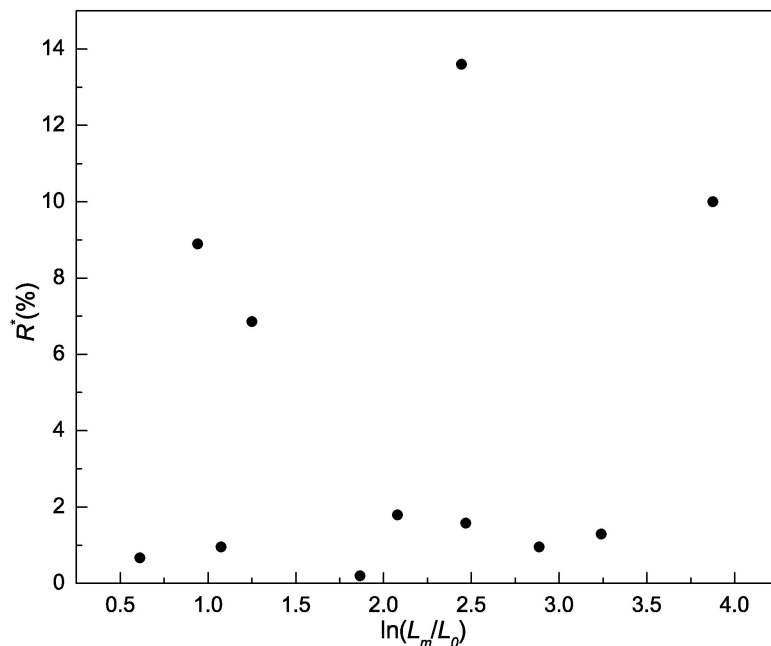
Takođe možemo da dobijemo udeo $H\alpha$ luminoznosti OSN u ukupnoj $H\alpha$ luminoznost galaksije – R^* , korigovanu za moguću nekompletnost uzorka OSN. Ako uporedimo originalno dobijenu vrednost R i korigovanu vrednost R^* (iz tabele 6.3), videćemo da je kod galaksije NGC 4214 ova promena najveća, ali najveća vrednost od oko 13% kontaminacije $H\alpha$ luminoznosti OSN u NGC 2403 nije značajno promenjena.

Na osnovu fitova raspodela $N - \ln L$ prikazanih na slici 6.2 možemo da vidimo da samo kod galaksija M81 i NGC 300 postoji značajan broj OSN malih luminoznosti koji nisu detektovani. Takođe, zbog karakteristika log-normalne raspodele, L^* se ne razlikuje puno od originalnih ukupnih luminoznosti OSN, ni za ove dve galaksije, a ni za ostale. Za dve galaksije, NGC 4214 i NGC 4449, L^* je nešto manja od L_{SNRs} , što je posledica postojanja veoma sjajnih OSN u ove dve galaksije, tako da raspodela ne može da se aproksimira jednom Gausovom funkcijom.

Čak i da su stvarne raspodele luminoznosti OSN zaista Gausove (u logaritamskoj skali), što je sigurno uprošćena aproksimacija zbog postojanja selekcionih efekata i granice senzitivnosti, posmatrana srednja vrednost, tj. logaritam luminoznosti koji odgovara maksimumu raspodele $\ln L_m$, ne mora da bude prava srednja vrednost raspodele, jer ona u stvarnosti može biti pomerena ka manjim luminoznostima. Generalno, očekujemo da što je posmatranjima postignuta veća osetljivost, tj. što je manja minimalna detektovana luminoznost L_o , da je veća verovatnoća da je maksimum raspodele L_m dobro određen. Kada bi to bilo ispunjeno, očekivali bismo da je R^* bolje određeno, tj. galaksije sa većim odnosom $\ln(L_m/L_o)$ bi trebalo da



Slika 6.15: Raspodela posmatranih OSN po luminoznostima za galaksije iz našeg uzorka i normalne raspodele koje najbolje odgovaraju posmatranjima.

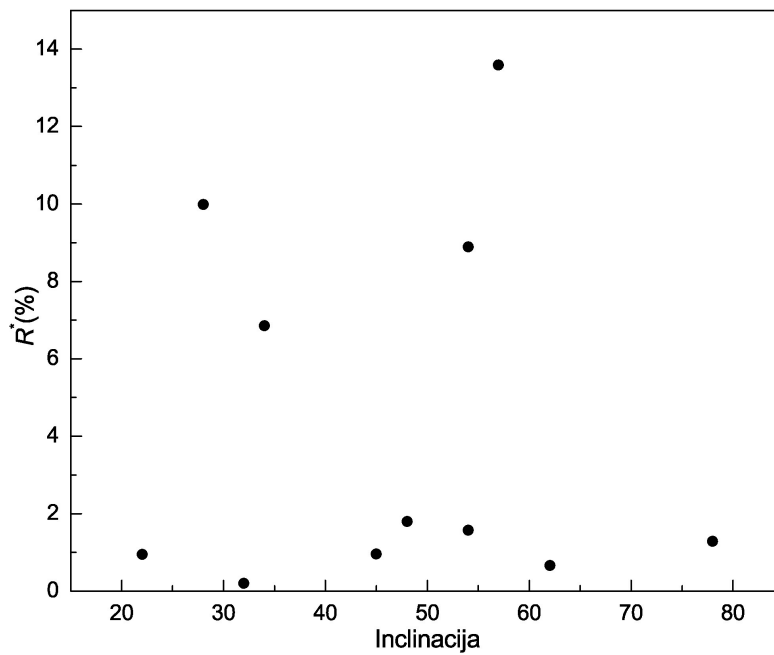


Slika 6.16: Korigovani udeo $H\alpha$ luminoznosti OSN u ukupnoj $H\alpha$ luminoznosti, R^* , u zavisnosti od $\ln(L_m/L_o)$ za 11 spiralnih galaksija u uzorku. Luminoznost koja odgovara maksimumu raspodele je L_m , a L_o je najmanja posmatrana luminoznost jednog OSN i uzimamo je za granicu osetljivosti. Nema korelacije između parametara.

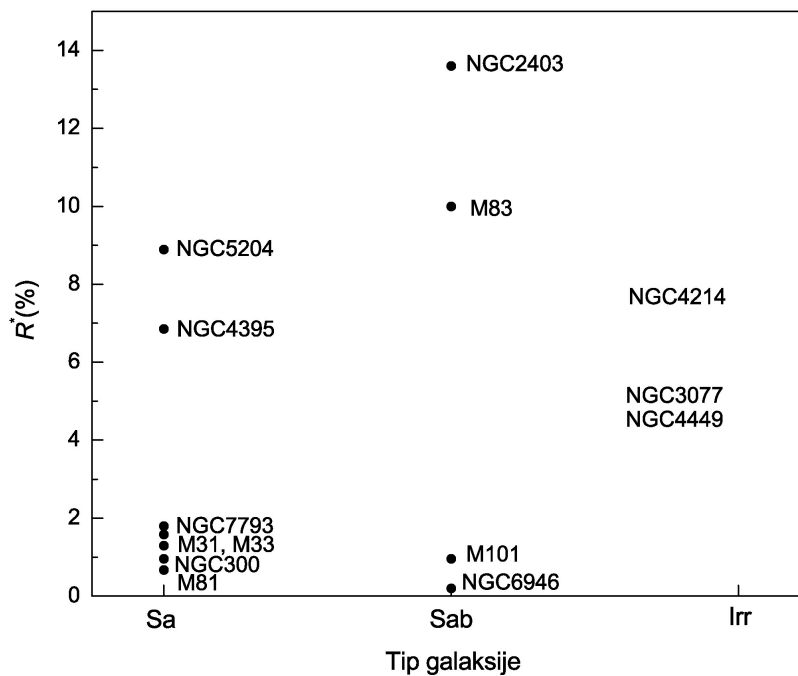
imaju veće R^* . Ovu hipotezu smo pokušali da proverimo za 11 spiralnih galaksija iz uzorka, ali nažalost nije primećena korelacija između R^* i $\ln(L_m/L_o)$ (slika 6.3).

Takođe, pokušali smo da proverimo da li postoji nekakva veza između kontaminacije $H\alpha$ fluksa zračenjem OSN i osobina galaksije: tipa i inklinacije, ali ponovo nismo uspeli da uvidimo korelaciju između R^* i karakteristika galaksije (slike 6.4 i 6.5).

Iz svega navedenog, zaključujemo da postojeći uzorci optičkih OSN u obližnjim galaksijama još uvek nisu dovoljno dobri da bi se izveo neki opštiji zaključak o uticaju zračenja OSN u liniji $H\alpha$ na određivanje stope formiranja zvezda na osnovu ove emisione linije.



Slika 6.17: Korigovani udeo $H\alpha$ luminoznosti OSN u ukupnoj $H\alpha$ luminoznosti galaksije, R^* , u zavisnosti od inklinacije galaksije, za 11 spiralnih galaksija u uzorku. Nema korelacije između parametara.



Slika 6.18: Zavisnost korigovanog udela $H\alpha$ luminoznosti OSN u ukupnoj $H\alpha$ luminoznosti galaksije, R^* , od tipa galaksije.

6.4.1 Kontaminacija $H\alpha$ fluksa galaksije ostacima supernovih i tip supernove

Pretpostavlja se da ostatke supernovih tipa Ia nije toliko lako detektovati u optičkom području, kao što je to slučaj sa ostacima SN tipa II ili Ib/c. SN tipa Ia se pojavljuju u sredinama koje su manjih gustina u galaksijama i zato za sobom ne ostavljaju vidljive ostatke. Stoga će OSN sa jakim Balmerovim linijama, za koje se smatra da su posledica SN tipa Ia (van den Bergh 1988), u pretragama u optičkom području biti ispušteni. Rad Manučija sa saradnicima o stopi eksplozija SN je sugerisao da je stopa SN tipa Ia oko 25%, što je u slaganju sa pretpostavkom Lija i Lija da 23% optičkih OSN u M31 potiče od SN tipa Ia (Mannucci et al. 2005; Lee & Lee 2014a). Takođe, Braun i Valterbos su procenili da se oko polovine kolapsirajućih SN (tipa II ili Ib/c) desi u asocijacijama zvezda i da one za sobom ne ostavljaju vidljivi OSN. Pod ovim pretpostavkama, očekujemo da smo u mogućnosti da vidimo samo oko trećinu svih OSN. Na ovo dodajemo i da je do sada svega nekoliko OSN posmatrano unutar H II regiona i da se pokazuje da optičke pretrage za OSN nisu dovoljno uspešne u detekciji velikih OSN malog površinskog sjaja. Iako se OSN veoma retko detektuju unutar H II regiona i zvezdanih asocijacija, svakako da OSN postoje unutar ovih struktura, i to ostaci SN tipa II i Ib/c. Postoje slučajevi koji upravo pokazuju da se OSN često nalaze uz ogromne H II regione, kao što je 30 Doradus, H II region u Velikom Magelanovom oblaku, a slični objekti sa detektivnim OSN su posmatrani i u Malom Magelanovom oblaku i galaksiji NGC 4449 (Kirshner & Blair 1980; Ye 1988; Ye, Turtle & Kennicutt 1991). Iako pomenuti OSN koji se nalaze unutar H II regiona najčešće nisu posmatranjima izdvojeni iz asocijiranih objekata, svakako je za očekivati da zračenje ovih OSN doprinosi ukupnom zračenju u liniji $H\alpha$, i samim tim utiče na povećanje kontaminacije fluksa zračenja iz kog se određuje SFZ.

Selekcionni efekti koji utiču na detekciju OSN su povezani i sa činjenicom da optičke OSN najčešće detektujemo u regionima manje gustine. Zbog toga, očekivano je da su regioni koje posmatramo uglavnom oni sa manjom stopom formiranja zvezda (za detalje ovog posmatračkog selekcionog efekta pogledati rad Panutija sa saradni-

cima (Pannuti et al. 2000)). Uzimajući i ovo u obzir, zaključujemo da su dobijeni procenti $H\alpha$ fluksa OSN u odnosu na ukupni $H\alpha$ fluks, iz koga se određuju SFZ u galaksijama, samo donja granica.

7. Zaključak

U ovoj glavi ćemo ukratko sumirati rezultate predstavljene u disertaciji i pomenuti neke planove za budući rad.

Ova disertacija je imala za cilj da proveriti doprinos zračenja ostataka supernovih ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije i uticaj ovog doprinosa na procenu SFZ u određenoj galaksiji. Sa tom idejom, posmatrani su delovi obližnjih galaksija IC342, NGC 3077 i NGC 185 sa Nacionalne astronomske opservatorije Rožen. Posmatranjima kroz uskopojasne filtere u linijama $H\alpha$ i $[S II]$ i kroz kontinuum filter na talasnoj dužini bliskoj talasnim dužinama ove dve linije, detektovali smo 16 potencijalnih OSN u dva vidna polja u galaksiji IC342 (Vučetić et al. 2015b), dva potencijalna OSN u galaksiji NGC 185 (Vučetić et al. 2016), dok u posmatranom delu galaksije NGC 3077 nismo pronašli optičke OSN (Anđelić et al. 2011). Naša posmatranja su pokazala da su dva prethodno poznata optička kandidata za OSN u galaksiji IC342 iz rada Dodorika sa saradnicima najverovatnije H II regioni (D’Odorico et al. 1980). Fluks u liniji $H\alpha$ ostataka supernovih u posmatranom delu galaksije IC342 iznosi 1.4% ukupnog $H\alpha$ fluksa. U eliptičnoj, patuljastoj galaksiji NGC 185 svega 10% $H\alpha$ fluksa potiče od difuzne emisije i kandidata za H II regione, dok preostali fluks potiče od planetarnih maglina i kandidata za ostatke supernovih, koji nisu pokazatelji formiranja zvezda. Zbog toga ističemo da bi se u slučaju procene stope formiranja zvezda na osnovu ukupne $H\alpha$ emisije u galaksiji NGC 185 načinila velika greška, jer bi SFZ bila veća čak deset puta, od one kolika bi bila kada bi se uklonilo zračenje koje ne prati formiranje zvezda. Sa druge strane, naglašavamo da je ovo donekle i očekivano, jer u eliptičnoj galaksiji bi trebalo da postoji značajno formiranje zvezda. Zato naglašavamo da je prilikom procene SFZ na osnovu emisije u liniji $H\alpha$ potrebno imati uvid u globalne karakteristike galaksije.

Drugi pristup odgovoru na pitanje koliki udeo zračenja galaksije u liniji $H\alpha$ potiče od OSN bio je da se u literaturi pronađu svi detektovani optički OSN u obližnjim galaksijama. Ispostavilo se da postoji 25 bliskih galaksija u kojima su posmatrani optički OSN. U disertaciji smo prikazali detalje vezane za detekciju OSN u svakoj od ovih galaksija, kako u optičkom, tako i u drugim područjima elektromagnetnog spektra. Od ovih 25 galaksija, napravili smo uzorak od 18 galaksija, koje su bile u celosti, ili većim delom posmatrane sa ciljem detekcije optičkih OSN (Vučetić et al. 2015a). Diskutovali smo doprinos $H\alpha$ flukseva OSN ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije i njegov uticaj na procenu SFZ za svaku galaksiju u našem uzorku. Našli smo da je prosečna kontaminacija ukupnog $H\alpha$ fluksa od strane OSN za analizirani uzorak od 18 bliskih galaksija pet procenata (Vučetić et al. 2015a). U ovom kontekstu pod kontaminacijom podrazumevamo zračenje koje doprinosi ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije na osnovu koga se procenjuje SFZ, a koje nije indikator formiranja zvezda. Najveća kontaminacija ostacima supernovih je oko 13%. U galaksiji M83, koja ima najveći broj optički detektovanih OSN, ovi objekti doprinose sa 9% ukupnom $H\alpha$ fluksu galaksije. Očekujemo da realan udeo zračenja ostataka supernovih u zračenju u liniji $H\alpha$ u spiralnim galaksijama iznosi oko 10%, slično kao u galaksiji M83. Zbog postojanja selekcionih efekata prilikom detekcije ostataka supernovih, zbog kojih optički pregledi nisu u mogućnosti da razdvoje OSN od H II regiona u sredinama većih gustina, za očekivati je da za određene galaksije stvarni procenti mogu biti veći od procenata dobijenih u ovoj disertaciji. Sa druge strane, treba imati u vidu da je udeo zračenja ostataka supernovih procenjen na osnovu potvrđenih, ali i potencijalnih OSN, te da je zbog toga moguće da su neki od procenata precenjeni.

Na ovom mestu pomenućemo još patuljastu galaksiju Holmberg IX. U okviru ove disertacije razmatrana je kontaminacija $H\alpha$ fluksa ove galaksije zračenjem jednog ULX objekta - Holmberg IX X-1. U ukupnom $H\alpha$ fluksu ove galaksije upravo dominira zračenje pomenutog ULX objekta, a ono takođe nije zračenje koje prati formiranje zvezda. Zbog toga je stopa formiranja zvezda unutar ove galaksije dobijena na osnovu zračenja u liniji $H\alpha$ značajno precenjena, veća je preko tri puta od one SFZ koja se dobija kada se iz ukupnog fluksa galaksije eliminiše doprinos ovog objekta. Primer ove galaksije nam skreće pažnju na to da slučajevi pogrešno

određene SFZ zbog kontaminacije fluksa objektima koji nisu pokazatelji formiranja zvezda sigurno postoje i među drugim galaksijama, a posebno među patuljastim.

Na kraju ove disertacije naglasićemo još prednosti i dostignuća detekcije ostataka supernovih u optičkom delu spektra. Iako ostaci supernovih u optičkom delu spektra intenzivno zrače značajno kraći deo svog života (dok su u radijativnoj fazi) u poređenju sa vremenom tokom kojeg zrače u radio ili X-području (u fazama slobodnog širenja, Sedovljevoj i radijativnoj), broj optičkih OSN od oko 1200 značajno prevazilazi broj detektovanih OSN na ostalim talasnim dužinama. Za to je velikim delom zaslužna slaba osetljivost radio-interferometara, kao i slaba osetljivost i uglovna rezolucija X-teleskopa. Ovde mislimo na vangalaktičke OSN, jer je u našoj Galaksiji najveći broj OSN detektovan upravo radio-posmatranjima, zbog ekstinckije optičkog zračenja u Galaktičkoj ravni. Posmatranja OSN van naše Galaksije imaju prednost i toga što su nam u tom slučaju udaljenosti do objekata poznate, odnosno što su svi objekti praktično na istoj udaljenosti, za razliku od većine OSN u Galaksiji, i što izborom orijentacije galaksije koja se posmatra možemo da izbegnemo ekstinckiju u njoj.

I pored značajno većeg broja optički detektovanih OSN u poslednje vreme, pokazuje se da postojeći uzorci optičkih OSN nisu dovoljni da bismo došli do novih saznanja o evoluciji ovih objekata (Arbutina & Vučetić 2016). Ovde pre svega mislimo na izostanak korelacije između npr. luminoznosti OSN u $H\alpha$ liniji i njihovih dijametara, kao i između odnosa intenziteta linija $[S II]/H\alpha$ i dijametara, odnosno starosti, tj. brzine udarnog talasa. Takođe, uvidom u takozvanu $N(\leq D) - D$ relaciju, tj. raspodelu kumulativnog broja ostataka u funkciji dijametra, uz boljšan teorijski pristup obliku ove relacije, kao što je prikazano u radu Arbutine i Vučetićeve, uz bolje uzorke OSN moglo bi se doći do novih podataka vezanih za njihovu evoluciju i sredinu u kojoj se oni nalaze (Arbutina & Vučetić 2016).

Zaključujemo da je postojeće uzorke optički detektovanih OSN neophodno upotuniti posmatranjima dugih ekspozicija i dobre rezolucije, kako bismo bili u mogućnosti da detektujemo objekte i slabog sjaja (a potencijalno velikog prečnika), kao i one malih dimenzija. Svakako je za detekciju vangalaktičkih OSN izuzetno bitno imati posmatranja jako dobre uglovne rezolucije, i u skladu sa tim je potrebno povećati

broj galaksija posmatranih svemirskom teleskopima, jer se na taj način mogu detektovati i OSN najmanjih dimenzija, ali i videti detaljna struktura objekata koja može doneti potvrdu da se radi o OSN. Uz to je poželjno fotometrijska posmatranja upotpuniti spektroskopskim, kako bismo imali potvrdu važenja kriterijuma $[S II]/H\alpha > 0.4$ za detekciju optičkih OSN. Još jedna mogućnost za dalji rad je da se na postojeće uzorke primeni bolja statistička analiza, kako bi se eliminisali uticaji posmatračkih selekcionih efekata.

Uz sve pomenuto, svakako najbolji pristup analizi ostataka supernovih je korišćenje posmatranja iz što šireg opsega talasnih dužina - radio, IC, X i γ . Jedino na taj način se može dobiti celokupna slika o uzorku OSN u galaksiji, jer detekcijama u različitim područjima detektujemo objekte koji se nalaze u različitim okruženjima i u različitoj evolutivnoj dobi. Pretpostavlja se da se OSN detektovani u X i radio-području nalaze u sredinama nešto većih gustina, dok se, suprotno, ostaci detektovani optičkim posmatranjima nalaze u sredinama manjih gustina, i izolovani od drugih objekata (Pannuti et al. 2000, 2007). U skladu sa tim, planirano je da budući rad na detekciji OSN u galaksiji IC342, pored završetka posmatranja celokupne površine galaksije u optičkom delu spektra, bude upotpunjen analizom arhivskih snimaka sa radio-teleskopa VLA i X-teleskopa Čandra i XMM-Njutn.

Bibliografija

- Abolmasov P., Fabrika S., Sholukhova O., Afanasiev V., 2007, *Astroph. Bull.*, 62, 36
- Allen M. G., Groves B. A., Dopita M. A., Sutherland R. S., Kewley L. J., 2008, *ApJS*, 178, 20
- Alonso-Herrero A. et al., 2006, *ApJ*, 650, 835
- Alsabti A. W., Murdin P., eds., 2017, *Handbook of supernovae*. Springer International Publishing
- Anđelić M. M., 2011, *Serb. Astron. J.*, 183, 71
- Anđelić M., Stavrev K., Arbutina B., Ilić D., Urošević D., 2011, *Balt. Astron.*, 20, 459
- Arbutina B., Vučetić M., 2016, *Proceedings of the Conference Supernova Remnants: An Odyssey in Space after Stellar Death*, Chania, Greece, id. 13
- Arbutina B., Ilić D., Stavrev K., Urošević D., Vukotić B., Onić D., 2009, *Serb. Astron. J.*, 179, 87
- Azimlu M., Marciniak R., Barmby P., 2011, *AJ*, 87, 1165
- Baade W., 1951, *Publ. Obs. Univ. Michigan*, 10, 7
- Badenes C., Maoz D., Draine B. T., 2010, *MNRAS*, 407, 1301
- Badjin D. A., Glazyrin S. I., Manukovskiy K. V., Blinnikov S. I., 2016, *MNRAS*, 459, 2188
- Baker J. R., Haslam C. G. T., Jones B. B., Wielebinski R., 1977, *A&A*, 59, 261
- Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R., 1981, *PASP*, 93, 5
- Balick B., Heckman T., 1978, *ApJ*, 226, L7
- Bandiera R., Petruk O., 2004, *A&A*, 419, 419
- Barbon R., Buondi V., Cappellaro E., Turatto M., 1999 *A&AS*, 139, 531
- Barbon R., Buondi V., Cappellaro E., Turatto M., 2010, *VizieR Online Data Catalog* 102024

Bastian N. et al., 2010, ARA&A, 48, 339

Bauer F. E. et al., 2002, AJ, 124, 2351

Bauer F. E., Brandt W. N., Lehmer B., 2003, AJ, 126, 2797

Bechtold J., Yee H. K. C., Elston R., Ellingson E., 1997, ApJL, 477, L29

Bell E. F., 1978, MNRAS, 182, 147

Bell E. F., 2003, ApJ, 586, 794

Bisnovatyi-Kogan G. S., Silich S. A., 1995, Rev. Mod. Phys., 76, 661

Blanc G. A. et al., 2011, ApJ, 736, 31

Blair W. P., Fesen R. A., 1994, ApJ, 424, 103

Blair W. P., Long K. S., 1997, ApJS, 108, 261

Blair W. P., Long K. S., 2004, ApJS, 155, 101

Blair W. P., Kirshner R. P., Chevalier R. A., 1981, ApJ, 247, 879

Blair W. P., Kirshner R. P., Winkler P. F., 1983, ApJ, 272, 84

Blair W. P., Fesen R. A., Schlegel E. M., 2001, AJ, 121, 1497

Blair W. P., Winkler P. F., Long K. S., 2012, ApJS, 203, 8

Blair W. P., Winkler P. F., Long K. S., 2013, ApJS, 207, 40

Blair W. P. et al., 2014, ApJ, 788, 55

Bland-Hawthorn J., Maloney R., 1999, ApJ, 510, 33

Blondin J. M., Wright E. B., Borkowski K. J., Reynolds S. P., 1998, ApJ, 500, 342

Bohringer H., Hensler G., 1989, A&A, 215, 147

Boselli A., Gavazzi G., Lequeux J., Pierini D., 2002, A&A, 385, 454

Bozzetto L. M., Filipović M. D., Crawford E. J., De Horta A. Y., Stupar M., 2012a, Serb. Astron. J., 184, 69

Bozzetto L. M., Filipović M. D., Urošević D., Crawford E. J., 2012b, Serb. Astron. J., 185, 25

Bozzetto L. M. et al., 2012c, MNRAS, 420, 2588

Bozzetto L. M. et al., 2013, MNRAS, 432, 2177

Bozzetto L. M. et al., 2014, MNRAS, 439, 1110

Braun R., Walterbos R. A. M., 1993, A&AS, 98, 327

- Bregman J. N., Cox C. V., Tomisaka K., 1993, ApJ, 415, 79
- Brinchmann J., Charlot S., White S. D. M., Tremonti C., Kauffmann G., Heckman T., Brinkmann J., 2004, MNRAS, 351, 1151
- Butler D. J., Martínez-Delgado D., Brandner W., 2004, AJ, 127, 1472
- Calzetti D., 2013, Falcón-Barroso J. & Knapen J. H., eds., Secular Evolution of Galaxies. Cambridge University Press, Cambridge, p. 419
- Calzetti D., Harris J., Gallagher J. S. III, Smith D. A., Conselice C. J., Homeier N., Kewley L., 2004, AJ, 127, 1405
- Calzetti D. et al., 2007, ApJ, 666, 870
- Calzetti D., Chandar R., Lee J. C., Elmegreen B. G., Kennicutt R. C., Whitmore B., 2010a, ApJL, 719, L158
- Calzetti D. et al., 2010b, ApJ, 714, 1256
- Chabrier G., 2003, PASP, 115, 763
- Chabrier G., 2005, Corbelli E., Palla F., Zinnecker H., eds., The Initial Mass Function 50 Years Later, vol. 327 of Astrophysics and Space Science Library. Springer, Dordrecht, p. 41
- Chevalier R. A., 1974, ApJ, 188, 501
- Chevalier R. A., 1982, ApJ, 258, 790
- Chomiuk L., Povich M. S., 2011, AJ, 142, 197
- Chomiuk L., Wilcots E. M., 2009, AJ, 137, 3869
- Cioffi D. F., McKee C. F., Bertschinger E., 1988, ApJ, 334, 252
- Clemens M. S. et al., 2013, MNRAS, 433, 695
- Condon J. J., 1992, ARA&A, 30, 575
- Conn A. R. et al., 2012, ApJ, 758, 11
- Cortese L. et al., 2008, MNRAS, 386, 1157
- Cox D. P., 1972, ApJ, 178, 159
- Cseh D. et al., 2012, ApJ, 749, 17
- Čajko K. O., Crawford E. J., Filipović M. D., 2009, Serb. Astron. J., 179, 55
- de Grijs R., O'Connell R. W., Becker G. D., Chevalier R. A., Gallagher J. S., 2000, AJ, 119, 681
- de Horta A. Y. et al., 2012, A&A, 540, 25

Dickel J. R., D'Odorico S., 1984, MNRAS, 206, 351

Dickel J. R., D'Odorico S., Felli M., Dopita M. A., 1982, ApJ, 252, 582

Dobbs C. L. et al., 2014, Beuther H., Klessen R. S., Dullemond C. P., Henning T., eds., Protostars and Planets VI. University of Arizona Press, Tucson, p. 3

D'Odorico S., Dopita M. A., 1983, Dordrecht, D., ed., Supernova remnants and their X-ray emission; Proceedings of the Symposium, Venice, Italy, 1982. Reidel Publishing Co., p. 517

D'Odorico S., Dopita M. A., Benvenuti P., 1980, A&AS, 40, 67

Dolphin A. E., 2002, MNRAS, 332, 91

Dominguez A. et al., 2013, ApJ, 763, 145

Donas J., Deharveng J. M., 1984, A&A, 140, 325

Dopita M. A., 1977, ApJS, 33, 437

Dopita M. A., Sutherland R. S., 1995, ApJ, 455, 468

Dopita M. A., Sutherland R. S., 1996, ApJS, 102, 161

Dopita M. A., Sutherland R. S., 2003, Astrophysics of the Diffuse Universe. Springer, Berlin

Dopita M. A. et al., 2010a, ApJ, 710, 964

Dopita M. A. et al., 2010b, Ap&SS, 330, 123

Dopita M. A., Payne J. L., Filipović M. D., Pannuti T. G., 2012, MNRAS, 427, 956

Draine B.T., 2003. ARA&A, 41, 241

Draine B.T., 2009, Henning T., Grun E., Steinacker J., eds., Cosmic Dust - Near and Far, ASP Conference Series, Vol. 414. San Francisco, p. 453

Drozdovsky I. O., Karachentsev I. D., 2000, A&AS, 142, 425

Duric N., 2004, Advanced astrophysics. Cambridge University Press, p. 270

Eck C. R., Cowan J. J., Branch D., 2002, ApJ, 573, 306

Elmegreen B. G., Elmegreen D. M., Chandar R., Whitmore B., Regan, M., 2006, ApJ, 644, 879

Evans N. J. et al., 2009, ApJS, 181, 321

Evans I. N. et al., 2010, A&ASS, 189, 37

Fabbiano G., 1988, ApJ, 325, 544

- Fabbiano G., Trinchieri G., 1987, *ApJ*, 315, 46
- Falle S. A. E. G., 1975, *MNRAS*, 172, 55
- Fenech D. M., Muxlow T. W. B., Beswick R. J., Pedlar A., Argo M. K., 2008, *MNRAS*, 391, 1384
- Fenech D. M., Beswick R. J., Muxlow T. W. B., Pedlar A., Argo M. K., 2010, *MNRAS*, 408, 607
- Feng H., Kaaret P., 2008, *ApJ*, 675, 1067
- Figer D. F., 2005, *Nature*, 434, 192
- Freedman W. L. et al., 2001, *ApJ*, 553, 47
- Ferguson A. M. N., Wyse R. F. G., Gallagher J. S., Hunter D. A., 1996, *AJ*, 111, 2265
- Ferrarese L. et al., 2000, *ApJS*, 128, 431
- Filipović M. D., Haynes R. F., White G. L., Jones P. A., 1998, *A&AS*, 130, 421
- Filipović M. D., Payne J. L., Reid W., Danforth C. W., Staveley-Smith L., Jones P. A., White G. L., 2005, *MNRAS*, 364, 217
- Forbes D. A., Polehampton E., Stevens I. R., Brodie J. P., Ward M. J., 2000, *MNRAS*, 312, 689
- Fossey J., Cooke B., Pollack G., Wilde M., Wright T., 2014, ed. Green D. W. E., *Central Bureau Electronic Telegrams*, 3792, 1
- Fowler W. A., Hoyle F., 1964, *ApJS*, 9, 201
- Franchetti N. A. et al., 2012, *AJ*, 143, 85
- Gallagher J. S. III, Hunter D. A., Mould J. R., 1984, *ApJ*, 281, L63
- Garn T. et al., 2010, *MNRAS*, 402, 2007
- Geach J. E., Smail I., Best P. N., Kurk, J., Casali M., Ivison R. J., Coppin, K., 2008, *MNRAS*, 388, 1473
- Ghavamian P., Raymond J., Smith R. C., Hartigan P., 2001, *ApJ*, 547, 995
- Ghavamian P., Laming J. M., Rakowski C. E., 2007, *ApJ*, 654, 69
- Gladstone J. C., Roberts T. P., Done C., 2009, *MNRAS*, 397, 1836
- Gonçalves D. R., Magrini L., Martins L. P., Teodorescu A. M., Quireza C., 2012, *MNRAS*, 419, 854
- Gordon S. M., Kirshner R. P., Long K. S., Blair W. P., Duric N., Smith R. C., 1998, *ApJS*, 117, 89

Gordon S. M., Duric N., Kirshner R. P., Goss W. M., Viallefond, F., 1999, ApJS, 120, 247

Grisé F., Kaaret P., Pakull M. W., Motch C., 2011, ApJ, 734, 23

Gutermuth R. A. et al., 2011, ApJ, 739, 84

Haberl F. et al., 2012a, A&A, 543, 154

Haberl F. et al., 2012b, A&A, 545, 128

Hao C. N. et al., 2011, ApJ, 741, 124

Hatano K., Branch D., Deaton J., 1998, ApJ, 502, 177

Hayes M., Schaerer D., Ostlin G., Mas-Hesse J. M., Atek H., Kunth D., 2011, ApJ, 730, 8

Heiderman A., Evans N., Allen L. E., Huar T., Heyer M., 2010, ApJ, 723, 1019

Heckman T. M. et al., 2011, ApJ, 730, 5

Helou G., Soifer B. T., Rowan-Robinson M., 1985, ApJL, 298, L7

Herrmann K. A., Ciardullo R., Feldmeier J. J., Vinciguerr M., 2008, ApJ, 683, 630

Hirashita H., Inoue A. K., Kamaya H., Shibai H., 2001, A&A, 366, 83

Ho L. C., Keto E., 2007, ApJ, 658, 314

Hodge P. W., 1977, ApJS, 33, 69

Hodge P. W., Kennicutt R. C. Jr., 1983, AJ, 88, 296

Hopkins A. M., Beacom J. F., 2006, ApJ, 651, 142

Huang Z. P., Thuan T. X., Chevalier R. A., Condon J. J., Yin Q. F., 1994, ApJ, 424, 114

Huchra J. P., Geller M. J., Gallagher J., Hunter D., Hartmann L., Fabbiano G., Aaronson M., 1983, ApJ, 274, 125

Hunter D. A., Elmegreen B. G., 2004, AJ, 128, 2170

Israel F. P., van der Hulst J.M., 1983, AJ, 88, 1736

James P. A. et al., 2004, A&A, 414, 23

James P. A., Shane N. S., Knapen J. H., Etherton J., Percival S. M., 2005, A&A, 429, 851

James P. A. et al., 2008, A&A, 482, 507

Jeans J. H., 1902, Philosoph. Trans. of the Roy. Soc. of London, 199, 1

Karachentsev I. D., Kaisin S. S., 2007, ApJ, 133, 1883

Karachentsev I. D., Kaisin S. S., 2010, AJ, 140, 124

Karachentsev I. D., Kashibadze O. G., 2006, Astrophysics, 49, 3

Karachentsev I. D., Kopylov A. I., Kopylova F. G., 1994, Bull. Spec. Astrophys. Obs., 38, 5

Karachentsev I. D. et al., 2002, A&A, 383, 125

Karachentsev I. D. et al., 2003a, A&A, 404, 93

Karachentsev I. D. et al., 2003b, A&A, 398, 479

Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Huchtmeier W. K., Makarov D. I., 2004, AJ, 127, 2031

Karachentsev I. D., Kaisin S. S., Kaisina E. I., 2015, ApJ, 58, 453

Karim A. et al., 2011, ApJ, 730, 61

Kaufman M., Bash F. N., Kennicutt R. C., Hodge P. W., 1987, ApJ, 319, 61

Kennicutt R. C., 1983, ApJ, 272, 54

Kennicutt R. C., 1998, ARA&A, 36, 189

Kennicutt R. C., Kent S. M., 1983, AJ, 88, 1094

Kennicutt R. C., Evans N. J., 2012, ARA&A, 50, 531

Kennicutt R. C., Tamblyn P., Congdon C. E., 1994, ApJ, 435, 22

Kennicutt R. C., Lee J. C., Funes J. G., Sakai S., Akiyama S., 2008, ApJS, 178, 247

Kennicutt R. C. et al., 2009, ApJ, 703, 1672

Kewley L. J., Geller M. J., Jansen R. A., 2004, AJ, 127, 2002

Kirshner R. P., Blair W. P., 1980, ApJ, 236, 135

Klessen R. S., Krumholz M. R., Heitsch F., 2011, Adv. Sci. Lett., 4, 258

Kong A. K. H., 2003, MNRAS, 346, 265

Kong A. K. H., Sjouwerman L. O., Williams B. F., 2004, ApJ, 128, 2783

Kronberg P. P., Wilkinson P. N., 1975, ApJ, 200, 430

Kronberg P. P., Biermann P., Schwab F. R., 1985, ApJ, 291, 693

Kroupa P., 2001, MNRAS, 322, 231

Kroupa P., Weidner C., 2003, ApJ, 598, 1076

Kroupa P. et al., 2013, eds. Oswalt T. D., Gilmore G., Planets, Stars and Stellar Systems Vol. 5. Springer Science and Business Media Dordrecht, p. 115

Krumholz M. R., 2014, PhR, 539, 49

Kumar C. K., 1976, PASP, 88, 323

Kuntz K. D., Snowden S. L., 2010, ApJS, 188, 46

Lacey C. K., Duric N., Goss W. M., 1997, ApJS, 109, 417

Lacey C. K., Goss W. M., Mizouni L. K., 2007, AJ, 133, 2156

Larson R. B., Tinsley B. M., 1978, ApJ, 219, 46

Lee J. H., Lee M. G., 2014a, ApJ, 786, 130

Lee J. H., Lee M. G., 2014b, ApJ, 793, 134

Lee J. C et al., 2009, ApJ, 692, 1305

Lee J. C., Hwang H. S., Ko J., 2013, ApJ, 774, 62

Lee M. G. et al., 2015, ApJ, 804, 63

Leievre M., Roy J. R., 2000, ApJ, 120, 1306

Leitherer C. et al., 1999, ApJS, 123, 3

Leitherer C. et al., 2010, ApJS, 189, 309

Leitherer C. et al., 2014 ApJS, 212, 14

Lenc E., Tingay S. J., 2006, AJ, 132, 1333

Leonidaki I., Zezas A., Boumis P., 2010, ApJ, 725, 842

Leonidaki I., Boumis P., Zezas A., 2013, MNRAS, 429, 189

Lequeux J., 2005, The interstellar medium. Springer, Berlin

Liu J., 2011, ApJS, 192, 10

Long K. S. et al., 2010, ApJS, 187, 495

Lozinskaya T. A., Silchenko O. K., Helfand D. J., Goss W. M., 1998, AJ, 116, 2328

Madau P., Dickinson M., 2014, ARA&A, 52, 415

Maddox L. A., Cowan J. J., Kilgard R. E., Lacey C. K., Prestwich A. H., Stockdale C. J., Wolfing E., 2006, AJ, 132, 310

Maggi P. et al., 2012, A&A, 546, 109

- Magnier E. A., Prins S., van Paradijs J., Lewin W. H. G., Supper R., Hasinger G., Pietsch W., Trumper J., 1995, *A&AS*, 114, 215
- Mak D. S. Y. et al., 2008, *ApJ*, 686, 995
- Mak D. S. Y., Pun C. S. J., Kong A. K. H., 2011, *ApJ*, 728, 10
- Mannucci F. et al., 2005, *A&A*, 433, 807
- Markoff S. et al., 2008, *ApJ*, 681, 905
- Marlowe H. et al., 2014, *MNRAS*, 444, 642
- Martínez-Delgado D., Aparicio A., Gallart C., 1999, *AJ*, 118, 2229
- Massey P., Strobel K., Barnes J. V., Anderson E., 1988, *ApJ*, 328, 315
- Massey P., Olsen K. A. G., Hodge P. W., Strong S. B., Jacoby G. H., Schlingman W., Smith R. C., 2006, *AJ*, 131, 2478
- Mathewson D. S., Clarke J. N., 1972, *ApJ*, 178, L107
- Mathewson D. S., Clarke J. N., 1973a, *ApJ*, 180, 725
- Mathewson D. S., Clarke J. N., 1973b, *ApJ*, 182, 697
- Mathewson D. S., Healey J. R., 1964, ed. Kerr. F. J., *The Galaxy and the Magellanic Clouds*, Proceedings of the IAU Symposium. Canberra, p. 283
- Mathewson D. S., Ford V. L., Dopita M. A., Tuohy I. R., Long K. S., Helfand D. J., 1983, *ApJS*, 51, 345
- Mathewson D. S., Ford, V. L., Dopita M. A., Tuohy I. R., Mills B. Y., Turtle A. J., 1984, *ApJS*, 55, 189
- Mathewson D. S., Ford V. L., Tuohy I. R., Mills B. Y., Turtle A. J., Helfand D. J., 1985, *ApJS*, 58, 197
- Matonick D. M., Fesen R. A., 1997, *ApJS*, 112, 49
- Matonick D. M., Fesen R. A., Blair W. P., Long K. S., 1997, *ApJS*, 113, 333
- McKee C. F., Ostriker J. P., 1977, *ApJ*, 218, 148
- McKee C. F., Ostriker E. C., 2007, *ARA&A*, 45, 565
- Medina A. A., Raymond J. C., Edgar R. d J., Caldwell N., Fesen R. A., Milisavljevic D., 2014, *ApJ*, 791, 30
- Meshkov E. E., 1969, *Sov. Fluid Dyn.*, 4, 101
- Millar W. C., White G. L., Filipović M. D., Payne J. L., Crawford E. J., Pannuti T. G., Staggs W. D., 2011, *Ap&SS*, 332, 221

- Miller B.W., 1995, ApJ, 446, L75
- Miller B.W., Hodge P., 1994, ApJ, 427, 656
- Miller G. E., Scalo J., 1979, ApJS, 41, 513
- Monet D. et al., 1998, USNO-A2.0 - A catalog of astrometric standards, U.S. Naval Observatory (<http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/ua2.html>)
- Moon D., Harrison F. A., Cenko S. B., Shariff J. A., 2011, ApJL, 731, 32
- Moustakas J., Kennicutt R. C., Tremonti C. A., 2006, ApJ, 642, 775
- Murphy E. J. et al., 2011, ApJ, 737, 67
- Murphy Williams R. N., Dickel J. R., Chu Y., Points S., Winkler F., Johnson M., Lodder K., 2010, Bull. of the American Astron. Soc., 41, 470
- Muxlow T. W. B., Pedlar A., Wilkinson P. N., Axon D. J., Sanders E. M., de Bruyn A. G., 1994, MNRAS, 266, 455
- Niklas S., Klein U., Wielebinski R., 1997, A&A, 322, 19
- Nikolić S., van de Ven G., Heng K., Kupko D., Lopez Aguerri J. A., Mendez-Abreu J., Serra J. F., Beckman J., 2014, Supernova Environmental Impacts, Proceedings of the IAU Symposium Vol. 296, p. 165
- Oey M. S., Kennicutt R. C., 1997, MNRAS, 291, 827
- Offner S. S. R., Clark P. C., Hennebelle P., Bastian N., Bate M. R., Hopkins P. F., Moraux E., Whitworth A. P., 2014, eds. Beuther H., Klessen R. S., Dullemond C. P., Henning T., Protostars and Planets VI. University of Arizona Press, Tucson, p. 53
- Onić D., 2013, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu
- Oort J. H., 1951, Problems in Cosmical Aerodynamics, Central Air Documents Office, Dayton
- Osterbrock D. E., Ferland G. J., 2006, Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei, 2nd edition. University Science Books, Sausalito
- Ostriker J. P., McKee C. F. 1988, Rev. Mod. Phys., 60, 1
- Ott J., Martin C. L., Walter F., 2003, ApJ, 594, 776
- Ouchi M. et al., 2009, ApJ, 696, 1164
- Ouchi M. et al., 2010, ApJ, 723, 869
- Pakull M. W., Soria R., Motch C., 2010, Nature, 466, 209
- Pannuti T. G., Schlegel E. M., Lacey C. K., 2007, AJ, 133, 1361

- Pannuti T. G., Duric N., Lacey C. K., Goss W. M., Hoopes C. G., Walterbos R. A. M., Magnor M. A., 2000, *ApJ*, 544, 780
- Pannuti T. G., Duric N., Lacey C. K., Ferguson A. M. N., Magnor M. A., Mendelowitz C., 2002, *ApJ*, 565, 966
- Pannuti T. G., Schlegel E. M., Filipović M. D., Payne J. L., Petre R., Harrus I. M., Staggs W. D., Lacey C. K., 2011, *AJ*, 142, 20
- Patnaude D. J., Fesen R. A., 2003, *ApJ*, 587, 221
- Payne J. L., Filipović M. D., Pannuti T. G., Jones P. A., Duric N., White G. L., Carpano S., 2004, *A&A* 425, 443
- Payne J. L., White G. L., Filipović M. D., Pannuti T. G., 2007, *MNRAS*, 376, 1793
- Payne J. L., White G. L., Filipović M. D., 2008, *MNRAS*, 383, 1175
- Peimbert M., Bohigas J., Torres-Peimbert S., 1988, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 16, 45
- Perlmutter S. et al., 1998, *Nature*, 391, 51
- Perlmutter S. et al., 1999, *ApJ*, 517, 565
- Persic M. et al., 2004, *A&A*, 419, 849
- Petruk O., 2006, preprint (arXiv:astro-ph/0604057)
- Pflamm-Altenburg J., Weidner C., Kroupa P., 2007, *ApJ*, 671, 1550
- Pietsch W., Freyberg M., Haberl F., 2005, *A&A*, 434, 483
- Planck Collaboration: Ade P. A. R. et al., 2011, *A&A*, 536, 1
- Plucinsky P. P. et al., 2008, *ApJS*, 174, 366
- Raiter A., Schaerer D., Fosbury R. A. E., 2010, *A&A*, 523, 64
- Ranalli P., Comastri A., Setti G., 2003, *A&A*, 399, 39
- Raymond J. C., 1979, *ApJS*, 39, 1
- Raymond J. C., Winkler P. F., Blair W. P., Lee J.-J., Par S., 2010, *ApJ*, 712, 901
- Relano M., Lisenfeld U., Perez-Gonzalez P. G., Vylchez J. M., Battaner E., 2007, *ApJ*, 667, L141
- Richtmyer R. D., 1960, *Comm. Pure Appl. Math.*, 13, 297
- Rieke G. H., Lebofsky M. J., 1978, *ApJL*, 220, L37
- Rieke G. H. et al., 2009, *ApJ*, 692, 556

Riess A. G. et al., 1998, AJ, 116, 1009

Roberts T. P., Colbert E. J. M., 2003, MNRAS, 341, 49

Roberts T. P., Goad M. R., Ward M. J., Warwick R. S., 2003, MNRAS, 342, 709

Rodriguez-Fernandez N. J., Braine J., Brouillet N., Combes F., 2006, A&A, 453, 77

Rosa-Gonzalez D., 2005, MNRAS, 364, 1304

Roy J.-R., Belley J., Dutil Y., Martin P., 1996, ApJ, 460, 284.

Sabbi E., Gallagher J. S., Smith J. L., de Mello D. F., Mountain M., 2008, ApJ, 676, L113

Saha A., Claver J., Hoessel J. G., 2002, AJ, 124, 839

Sakai S., Madore B. F., 1999, ApJ, 526, 599

Salim S. et al., 2007, ApJS, 173, 267

Salim S. et al., 2016, ApJS, 227, 2

Salpeter E. E., 1955, ApJ, 121, 161

Sandage A. R. 1971, ApJ, 166, 13

Sasaki M., Pietsch W., Haberl F., Hatzidimitriou D., Stiele H., Williams B. F., Kong A. K. H., Kolb U., 2012, A&A, 544, 144

Sauvage M., Thuan T. X., 1992, ApJL, 396, L69

Schlaflly E. F., Finkbeiner D. P., 2011, ApJ, 737, 103

Schlegel M., 1994, ApJ, 424, 99

Searle L., Sargent W. L. W., Bagnuolo W. G., 1973, ApJ, 179, 427

Seaquist E. R., Bignell R. C., 1978, ApJL, 226, 5

Sedov L. I., 1959, Similarity and Dimensional Methods in Mechanics. Academic Press, New York

Sersic J. L., 1973, PASP, 85, 103

Sharina M. E., Karachentsev I. D., Tikhonov N. A., 1996, A&AS, 119, 499

Shim H., Chary R.-R., Dickinson M., Lin L., Spinrad H., Stern D., Yan C.-H., 2011, ApJ, 738, 69

Skillman E. D., 1985, ApJ, 290, 449

Schmidt B. P. et al., 1998, ApJ, 507, 46

- Smith C., Leiton R., Pizarro S., 2000, eds., D. Alloin, K. Olsen, G. Galaz, Stars, Gas and Dust in Galaxies: Exploring the Links, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 221, p. 83
- Smith L. J., Norris R. P. F., Crowther P. A., 2002, MNRAS, 337, 1309
- Sobral D. et al., 2009, MNRAS, 398, 75
- Sobral D., Best P. N., Matsuda Y., Smail I., Geach J. E., Cirasuolo M., 2012, MNRAS, 420, 1926
- Sobral A. et al., 2013, MNRAS, 428, 1128
- Sonbas E., Akyuz A., Balman S., 2009, A&A, 493, 1061
- Sonbas E., Akyuz A., Balman S., Özel M. E., 2010, A&A, 517, 9
- Soria R., Wu K., 2003, A&A, 410, 53
- Soria R., Pian E., Mazzali P. A., 2004, A&A, 413, 107
- Soria R., Pakull M., Broderick J., Corbel S., Motch C., 2010, AIP Conference Proceedings, 1248, 127
- Sramek R., 1992, ed. A. V. Filipenko, Relationships Between Active Galactic Nuclei and Starburst Galaxies, ASP Conf. Ser. 31., San Francisco, p. 273
- Sramek R. A., Weedman D. W., 1986, ApJ, 302, 640S
- Stiele H., Pietsch W., Haberl F., Hatzidimitriou D., Barnard R., Williams B. F., Kong A. K. H., Kolb U., 2011, A&A, 534, A55
- Straka W. C., 1974, ApJ, 190, 59
- Summers L. K., Stevens I. R., Strickland D. K., Heckman T. M., 2003, MNRAS, 342, 690
- Supper R., Hasinger G., Lewin W. H. G., Magnier E. A., van Paradijs J., Pietsch W., Read A. M., Trumper J., 2001, A&A, 373, 63
- Sutherland R. S., Dopita M. A., 1993, ApJS, 88, 253
- Sutherland R. S., Bicknell G. V., Dopita M. A., 1993, ApJ, 414, 510
- Symeonidis M. et al., 2011, MNRAS 417, 2239
- Thies I., Kroupa P., 2007, ApJ, 671, 767
- Thies I., Kroupa P., 2008, MNRAS, 390, 1200
- Thilker D. A. et al., 2007, ApJS, 173, 572
- Thim F., Tammann G. A., Saha A., Dolphin A., Sandage A., Tolstoy E., Labhardt L., 2003, ApJ, 590, 256

Treyer M. et al., 2010, ApJ, 719, 1191

Tsai C.-W., Turner J. L., Beck S. C., Crosthwaite L. P., Ho P. T. P., Meier D. S., 2006, AJ, 132, 2383

Tully R., 1988, Nearby Galaxies Catalog. Cambridge University Press, Cambridge

Tully R. B et al., 2006, AJ, 132, 729

Turner J. L., Ho P. T. P., 1983, ApJL, 268, 79

Turner J. L., Ho P. T. P., 1994, ApJ, 421, 122

Ulvestad J. S., 2000, AJ, 120, 278

van den Bergh S., 1988, ApJ, 327, 156

van den Bergh S., 2000, PASP, 112, 529

Vierdayanti K., Done C., Roberts T. P., Mineshige S., 2010, MNRAS, 403, 1206

Villar V. et al., 2008, ApJ, 677, 169

Villar V., Gallego J., Pérez-González P. G., Barro G., Zamorano J., Noeske K., Koo D. C., 2011, ApJ, 740, 47

Vučetić M. M., Arbutina B., Urošević D., Dobardžić A., Pavlović M. Z., Pannuti T. G., Petrov N., 2013, Serb. Astron. J., 187, 11

Vučetić M. M., Arbutina B., Urošević D., 2015a, MNRAS, 446, 943

Vučetić M. M., Čiprijanović A., Pavlović M. Z., Pannuti T. G., Petrov N., Goker U. D., Ercan E. N. 2015b, Serb. Astron. J., 191, 67

Vučetić M. M., Arbutina B., Pavlović M. Z., Čiprijanović A., Urošević D., Petrov N., Onić D., Trčka A., 2016, Proceedings of the Conference Supernova Remnants: An Odyssey in Space after Stellar Death, Chania, Greece, id. 34

Vukotić B., Bojičić I., Pannuti T. G., Urošević D., 2005, Serb. Astron. J., 170, 101

Walter F., Weiss A., Martin C., Scoville N., 2002, AJ, 123, 225

Webbink R. F., 1984, ApJ, 277, 355

Weidner C., Kroupa P., 2004, MNRAS, 348, 187

Weisz D. R. et al., 2008, ApJ, 689, 160

Wen X. Q. et al., 2014, MNRAS, 438, 97

Williams R. M., Chu Y.-H., Dickel J. R., Petre R., Smith R. C., Tavaréz M., 1999, ApJS, 123, 467

Wright E. et al., 2010, AJ, 140, 1868

- Wu H. et al., 2005, ApJ, 632, L79
- Yang H., Skillman E. D., Sramek R. A., 1994, AJ, 107, 651
- Ye T., 1988, PhD thesis, University of Sidney
- Ye T., Turtle A. J., Kennicutt R. C., 1991, MNRAS, 249, 722
- Young L. M., Lo K. Y., 1997, ApJ, 476, 127
- Yun M. S., Reddy N. A., Condon J. J., 2001, ApJ, 554, 803
- Zhu Y. N., Wu H., Cao C., Li H. N., 2008, ApJ, 686, 155

**Dodatak - Optički ostaci
supernovih u obližnjim galaksijama**

Tabela 7.9: Optički OSN u M31 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
1	9.4056797	39.862778	7.8	12.9	0.86
2	9.8472862	40.738834	51.5	15.3	1.06
3	9.8783941	40.357998	7.1	8.8	0.96
4	9.9373655	40.498367	31.8	12.6	1.09
5	9.9593277	40.349838	43.9	14.8	0.40
6	9.968482	40.495148	112.7	19.6	0.67
7	10.046629	40.960224	7.8	19.8	1.37
8	10.0589018	40.620914	8.4	14.2	1.26
9	10.1020517	40.815052	13.9	11.3	1.03
10	10.126564	40.721081	0.6	2.1	0.56
11	10.1330128	40.547215	10.0	6.7	0.37
12	10.1337214	40.508747	10.0	14.1	1.09
13	10.1393518	40.726681	64.9	15.2	0.51
14	10.1402712	40.546425	87.5	16.4	0.40
15	10.1508045	40.819435	34.8	17.5	0.59
16	10.1652269	40.580177	66.4	17.2	0.41
17	10.1692801	40.811764	10.8	9.7	0.39
18	10.1965523	40.923656	47.0	7.0	1.17
19	10.1972914	40.529202	8.0	7.4	0.38
20	10.2623024	41.0746	7.3	6.0	1.38
21	10.2665014	40.783951	11.5	7.7	0.89
22	10.2762041	40.869125	22.0	10.4	0.41
23	10.2771988	40.651047	19.1	19.6	0.55
24	10.2952595	40.831676	47.0	13.3	0.70
25	10.2960691	41.099934	16.3	13.5	0.59
26	10.2964392	41.122688	10.8	21.3	1.66
27	10.2981033	40.80397	22.0	17.5	1.01
28	10.2999973	41.108936	19.6	23.4	0.79
29	10.3255005	40.819576	25.2	20.0	1.06
30	10.3335094	41.301712	30.3	20.8	1.00
31	10.3789129	41.088413	13.9	11.3	1.03
32	10.3917561	41.247833	7.6	15.9	1.46
33	10.3965063	41.340069	22.0	12.3	0.42
34	10.3986397	41.115501	30.3	7.4	0.80
35	10.4203758	40.639297	11.3	11.4	0.41
36	10.4724016	41.453789	18.3	16.4	1.02
37	10.5428724	40.86359	17.1	12.1	1.11
38	10.5503168	40.791389	1.3	4.7	1.26
39	10.5617714	40.867516	7.4	8.9	1.24
40	10.584218	41.465248	81.7	12.5	0.60
41	10.6017151	41.291477	19.6	9.5	0.96
42	10.6060371	40.873493	3.9	10.5	1.37

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014).

Tabela 7.9: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
43	10.6072426	41.296906	4.8	4.1	1.17
44	10.6137457	41.491959	8.6	8.4	0.70
45	10.6318827	41.101646	32.5	10.3	0.84
46	10.6862478	40.909912	5.2	8.0	0.85
47	10.6966658	41.022324	24.1	14.4	1.00
48	10.7049685	41.401382	20.0	8.4	0.93
49	10.706274	41.565147	60.5	15.9	0.65
50	10.7235756	41.430981	45.9	7.4	0.91
51	10.730814	40.996078	14.9	11.7	0.73
52	10.7325888	41.440166	24.7	16.5	0.90
53	10.7364969	41.582928	17.9	20.0	1.15
54	10.7659559	41.604427	87.5	20.1	0.79
55	10.766037	41.082691	42.9	16.1	0.53
56	10.7774887	41.649517	37.3	17.6	0.56
57	10.7843409	41.101158	12.9	16.1	1.22
58	10.7860861	41.085117	10.3	10.2	0.91
59	10.7866192	41.05183	7.0	11.0	0.95
60	10.7957678	41.627312	50.4	12.5	0.45
61	10.7966137	41.486042	22.0	12.7	0.95
62	10.8106556	40.909092	42.9	23.9	0.47
63	10.8312664	41.050423	12.9	13.1	0.53
64	10.8446941	41.109844	10.5	17.4	1.07
65	10.8452797	41.098709	15.6	14.9	0.69
66	10.8662777	41.308483	118.0	11.1	0.81
67	10.8721495	41.317833	28.3	12.7	0.76
68	10.8975859	41.235611	7.0	14.3	1.60
69	10.9093084	41.736958	7.3	11.7	0.75
70	10.913332	41.448254	59.2	6.9	0.90
71	10.918602	41.1814	10.5	8.5	1.16
72	10.9261484	41.764786	9.4	13.1	0.64
73	10.9388771	41.446407	4.5	9.4	1.29
74	10.9410877	41.742714	11.0	11.3	0.48
75	10.9473724	41.214676	9.8	8.3	0.80
76	10.9731379	41.200802	18.3	10.9	0.89
77	10.9744349	41.688019	7.8	13.5	0.85
78	10.9776745	41.881714	38.2	10.4	1.01
79	10.983777	41.785252	45.9	25.0	0.76
80	10.9928131	41.224857	95.9	12.1	1.02
81	10.9976645	41.806274	24.1	17.6	0.52
82	11.0045404	41.351501	4.4	3.6	0.55
83	11.019249	41.814159	50.4	16.4	0.42
84	11.0212221	41.455238	81.7	14.3	0.51

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014).

Tabela 7.9: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] × 10 ⁻¹⁵	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
85	11.0231409	41.336361	22.0	15.0	0.71
86	11.0551329	41.841881	13.9	12.3	0.44
87	11.0558453	41.331738	22.0	5.8	0.96
88	11.0700617	41.861652	4.9	11.6	1.20
89	11.0834484	41.301193	66.4	15.4	0.42
90	11.0850019	41.5807	4.8	6.4	0.49
91	11.0955467	41.308174	1.9	3.2	0.49
92	11.1053743	41.413929	17.5	20.7	0.94
93	11.1101227	41.816521	11.5	17.0	1.35
94	11.1169834	41.303799	9.0	9.7	0.96
95	11.1231985	41.878918	51.5	15.2	0.41
96	11.1341314	41.393314	76.2	15.1	0.44
97	11.1494112	41.423695	93.8	13.0	0.75
98	11.1525688	41.418209	138.7	19.1	0.62
99	11.1561966	41.413376	8.6	5.6	0.46
100	11.1617689	41.424114	93.8	12.7	0.49
101	11.1721048	41.465294	16.3	12.6	0.94
102	11.1800842	41.447426	40.9	14.3	0.69
103	11.1815004	41.437695	214.8	17.4	0.64
104	11.1823425	41.964668	28.3	13.8	1.22
105	11.1915255	41.88311	1.0	2.8	0.87
106	11.1961946	41.489052	57.8	11.6	0.89
107	11.2065029	41.885338	28.3	18.8	1.03
108	11.2103958	41.4646	6.8	8.4	0.86
109	11.2106609	41.906368	9.6	11.8	0.92
110	11.2119102	41.536724	79.8	18.7	0.36
111	11.2131958	41.484985	57.8	8.7	0.98
112	11.2199574	41.916546	19.1	6.7	1.15
113	11.2269049	41.5312	17.1	11.8	0.82
114	11.2318478	41.948826	2.1	8.2	0.95
115	11.2510681	41.473709	8.6	7.3	0.81
116	11.2566252	41.992016	14.5	11.9	0.44
117	11.2709312	41.648121	41.9	19.2	0.52
118	11.2815895	41.596478	5.6	9.6	1.40
119	11.2828627	41.539677	19.6	13.3	0.41
120	11.290204	41.852699	34.0	12.7	0.52
121	11.2954798	41.668118	6.3	13.8	1.44
122	11.3005543	41.838196	22.0	19.9	0.71
123	11.307682	41.596668	4.2	8.8	1.36
124	11.3085947	41.604435	69.5	10.0	0.98
125	11.3134565	41.573505	10.5	19.2	1.11
126	11.3197832	41.789722	21.5	20.7	0.60

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014).

Tabela 7.9: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] × 10 ⁻¹⁵	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
127	11.3282585	41.909809	33.3	23.7	0.64
128	11.3416309	41.66563	13.9	14.9	1.06
129	11.3532457	41.727592	5.8	6.3	0.85
130	11.3551655	41.684525	14.2	12.1	0.47
131	11.3582821	41.722782	10.8	7.4	0.44
132	11.3604527	41.714699	2.1	5.4	0.53
133	11.3649511	41.717503	4.9	6.6	1.05
134	11.3656368	41.871372	27.0	18.6	0.44
135	11.3659668	41.774178	81.7	18.5	0.44
136	11.3698902	41.775375	31.0	12.0	0.55
137	11.3733635	41.791794	13.6	18.2	1.35
138	11.383029	41.801659	22.5	14.3	0.54
139	11.3980255	41.968945	23.6	9.8	0.81
140	11.4002151	41.901939	27.0	26.4	1.08
141	11.4016514	41.79921	13.2	13.9	0.66
142	11.4078999	41.839176	14.5	14.8	0.83
143	11.4142132	41.786888	11.5	12.2	1.13
144	11.4316845	41.930859	170.6	23.0	0.77
145	11.4854908	42.186268	162.9	24.5	0.53
146	11.5171375	41.836693	21.5	27.5	1.14
147	11.5838375	41.88327	45.9	24.6	0.44
148	11.6234102	41.969452	24.1	13.7	0.83
149	11.6344233	41.995224	54.0	12.7	0.38
150	11.6405077	42.182217	87.5	23.3	0.56
151	11.6407747	41.993465	4.2	5.0	0.60
152	11.6475868	42.227032	28.3	12.3	0.76
153	11.6587248	42.187496	5.3	10.2	0.87
154	11.662818	42.12149	6.1	10.2	1.16
155	11.6689005	42.191399	29.6	20.2	1.03
156	11.6789007	42.21674	9.2	13.6	1.12

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014).

Tabela 7.10: Optički OSN u M33 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
1	23.1074047	30.501122	19.1	20.9	0.74
2	23.1160583	30.595718	14.8	18.6	0.98
3	23.1306095	30.59247	13.8	7.2	0.59
4	23.1473484	30.588837	30.3	21.9	0.5
5	23.1548519	30.298412	18.7	21.9	0.6
6	23.1657581	30.465267	3.0	9.3	0.93
7	23.1676331	30.272575	5.9	11.3	0.52
8	23.1694889	30.275404	3.0	10.8	0.79
9	23.1705875	30.530849	30.3	22.2	0.51
10	23.1779709	30.605574	15.5	14.9	0.49
11	23.1865292	30.370794	11.5	9.8	0.85
12	23.1894512	30.387268	9.1	11.6	0.59
13	23.1947098	30.577244	12.3	10.8	0.89
14	23.2160149	30.852493	2.9	10.3	0.72
15	23.2197418	30.636904	25.2	14.4	0.57
16	23.2200184	30.526175	31.0	17.5	0.56
17	23.2224121	30.632544	50.2	12.9	0.6
18	23.2226791	30.806719	8.0	14.4	0.81
19	23.2253342	30.42535	18.7	10.8	0.81
20	23.2338333	30.558456	26.4	20.6	0.85
21	23.2337856	30.676781	81.5	24.7	0.87
22	23.2377892	30.657656	34.8	5.7	0.83
23	23.2382488	30.654081	11.2	9.5	0.47
24	23.2517509	30.735655	7.1	8.8	0.56
25	23.2522678	30.517069	214.3	11.9	0.56
26	23.2562904	30.513704	35.6	6.7	0.54
27	23.2622108	30.541559	28.9	12.6	0.74
28	23.264782	30.52247	17.0	8.8	1.1
29	23.2667904	30.664919	55.1	8.5	0.66
30	23.2856255	30.204226	5.3	7.0	0.6
31	23.2874203	30.44969	21.9	12.9	0.79
32	23.2903957	30.27751	10.0	21.9	1.15
33	23.2911205	30.659842	123.3	25.8	0.51
34	23.2925949	30.706184	5.9	6.2	0.85
35	23.2964249	30.66214	13.2	6.2	0.68
36	23.2970009	30.57259	148.2	23.7	0.45
37	23.2981281	30.644634	16.3	4.6	0.49
38	23.3060722	30.470312	28.2	19.1	0.54
39	23.3075466	30.662226	25.2	16.8	0.51
40	23.3139725	30.594976	11.8	19.3	0.74
41	23.3199711	30.769606	56.4	18.0	0.62
42	23.3224964	30.52458	15.5	8.8	0.81

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014b).

Tabela 7.10: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
43	23.3231049	30.779345	32.4	17.5	0.6
44	23.3255215	30.560724	3.7	7.7	0.47
45	23.3288326	30.78108	21.9	17.0	1.02
46	23.3313541	30.208126	8.5	17.8	0.69
47	23.3364964	30.432003	2.5	4.1	0.46
48	23.3383007	30.322397	13.5	19.1	0.55
49	23.3388863	30.508787	23.5	14.2	0.42
50	23.3398228	30.525311	76.0	20.6	0.46
51	23.3414268	30.432878	14.8	9.3	0.51
52	23.3444595	30.451111	8.0	5.2	1
53	23.349369	30.437155	23.0	6.2	1.12
54	23.35005	30.61578	20.9	19.6	0.64
55	23.3507557	30.480623	6.5	12.9	1.05
56	23.3627892	30.796829	29.6	16.0	0.81
57	23.3638153	30.399818	5.3	8.8	0.48
58	23.3663521	30.304823	6.5	10.3	0.93
59	23.3666477	30.266989	2.5	9.5	0.81
60	23.3670883	30.52639	27.0	8.2	0.55
61	23.3709965	30.704794	83.4	5.4	0.95
62	23.3729706	30.81967	8.5	8.0	0.78
63	23.3741264	31.031382	6.8	12.1	0.79
64	23.375618	30.79565	24.0	10.3	0.45
65	23.3776493	30.350418	33.2	22.7	0.79
66	23.3799877	30.353962	16.3	14.9	0.78
67	23.3807354	30.55928	195.4	11.3	0.68
68	23.3804932	30.70508	35.6	13.4	0.4
69	23.3824997	30.51697	26.4	21.1	1.02
70	23.3962612	30.323381	8.0	16.2	0.81
71	23.3964195	30.38542	3.9	10.8	1.51
72	23.3957863	30.498487	11.2	4.6	0.93
73	23.3984585	30.823133	13.8	8.0	1.05
74	23.4003639	30.60746	263.6	10.3	0.69
75	23.4042568	30.55279	56.4	19.1	0.62
76	23.4045391	30.548189	17.4	9.8	1.12
77	23.4072895	30.66922	17.8	12.9	0.83
78	23.4082813	30.705059	16.6	7.0	0.57
79	23.4110508	31.0441	20.9	15.2	0.87
80	23.414978	30.573895	15.2	15.7	0.79
81	23.4188614	30.181028	12.3	11.9	0.76
82	23.4194202	30.661329	24.6	10.8	0.74
83	23.42029	30.870544	16.3	15.5	0.98
84	23.4220791	30.541521	12.0	10.3	0.51

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014b).

Tabela 7.10: nastavak*

Ime ob[°]	RA [°]	Dec. $\times 10^{-15}$	F(H α)	Dijametar	[S II]/H α
85	23.42379	30.351213	63.2	9.3	0.62
86	23.4260006	30.349539	40.8	11.3	0.83
87	23.4287891	30.697081	72.6	19.1	0.5
88	23.4310341	30.684315	12.9	6.7	0.78
89	23.4319057	30.603189	24.0	9.3	0.52
90	23.4385796	30.53907	100.2	18.0	0.54
91	23.4477501	30.66242	17.0	10.8	0.74
92	23.4479961	30.287159	10.7	14.4	0.54
93	23.449255	30.300585	49.1	24.2	0.62
94	23.4505596	30.290524	0.9	4.9	0.46
95	23.4512844	30.65789	11.8	3.6	0.63
96	23.4538212	30.551439	43.7	10.3	0.98
97	23.4571171	30.513359	23.0	14.4	0.59
98	23.4579201	30.504641	6.5	11.9	0.95
99	23.4589176	30.591354	30.3	12.9	0.74
100	23.4628372	30.732281	66.2	12.4	0.55
101	23.4652901	30.51656	15.5	14.9	1
102	23.4654598	30.51206	12.3	11.3	0.74
103	23.4690094	30.477346	5.5	10.3	0.44
104	23.4761696	30.563198	50.2	12.6	0.83
105	23.4776421	30.754663	112.5	9.8	0.76
106	23.4778748	30.314161	15.5	18.6	0.91
107	23.478878	30.553061	107.4	6.7	0.87
108	23.4792099	30.66592	7.3	8.2	0.79
109	23.4803638	30.280268	2.5	8.0	0.54
110	23.4853706	30.357574	27.6	14.9	0.93
111	23.4873695	30.58297	23.5	8.0	1.02
112	23.4880409	30.68014	12.6	10.8	0.83
113	23.4880409	30.58503	14.2	4.9	0.5
114	23.4892082	31.015499	14.5	15.5	0.51
115	23.4918327	30.535999	25.2	6.2	0.37
116	23.4918728	30.631905	17.4	5.7	0.95
117	23.4934196	30.606863	5.1	3.9	0.98
118	23.4938297	30.86508	19.1	13.9	0.91
119	23.4942245	30.558519	39.9	12.4	0.52
120	23.496439	30.545017	22.4	10.1	0.5
121	23.4996223	30.572859	69.3	8.0	0.45
122	23.5010509	30.65802	16.3	10.3	0.81
123	23.5012016	30.705465	24.6	9.3	0.93
124	23.5013294	30.790329	18.7	11.9	1
125	23.5024223	30.84524	1.4	5.9	0.93
126	23.5025005	30.817829	1.0	3.1	0.6

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014b).

Tabela 7.10: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
127	23.5055809	30.58894	20.5	12.4	0.85
128	23.5087357	30.476257	3.6	9.5	0.48
129	23.5097656	30.51841	23.0	13.7	0.89
130	23.5137901	30.606209	170.2	23.2	0.49
131	23.5144997	30.745501	15.9	11.3	0.79
132	23.5177498	30.549191	3.6	8.2	1
133	23.5203514	30.975195	15.5	18.6	0.46
134	23.5229359	31.123989	5.3	14.2	0.71
135	23.5299473	30.60626	109.9	24.7	0.78
136	23.53125	30.618891	2.4	4.1	0.87
137	23.5332317	31.017696	15.2	13.9	0.55
138	23.5348701	30.77589	5.6	4.9	0.5
139	23.54175	30.78747	7.3	6.7	0.78
140	23.5444927	30.706671	66.2	5.9	1.17
141	23.5459557	30.650043	4.8	4.1	0.74
142	23.5467281	30.404257	3.7	10.8	0.62
143	23.5511837	31.045387	8.5	14.2	0.48
144	23.5537357	30.390079	5.6	11.9	0.5
145	23.5542507	30.810179	39.9	11.9	0.69
146	23.5568695	30.724171	5.6	7.0	0.79
147	23.5571194	30.80501	66.2	16.0	0.76
148	23.5577202	30.511061	2.2	4.1	0.39
149	23.5588379	30.575401	72.6	10.3	0.52
150	23.5597897	30.698219	10.7	11.3	0.85
151	23.5599194	30.66156	12.9	9.8	1.05
152	23.560215	30.897751	41.8	14.9	1
153	23.5606117	30.743383	16.6	13.1	0.74
154	23.5611305	30.530809	9.4	17.0	1.1
155	23.5648708	30.549971	13.5	8.8	0.69
156	23.5679607	30.87575	91.4	20.6	0.6
157	23.5708294	30.86368	95.7	8.2	0.4
158	23.5709591	30.566105	79.6	13.4	0.52
159	23.5732822	30.68981	31.7	13.4	0.89
160	23.5764179	30.901609	15.9	20.6	0.98
161	23.5803299	30.56275	102.6	10.3	0.46
162	23.5810261	30.880247	16.3	19.3	0.87
163	23.582016	30.561531	87.3	9.8	0.36
164	23.5824432	30.565634	56.4	7.7	0.69
165	23.5966167	30.423655	12.0	12.9	0.78
166	23.5973969	30.906563	0.7	2.6	0.89
167	23.6003227	30.556782	27.6	15.5	0.44
168	23.6020145	30.816208	48.0	20.6	0.48

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014b).

Tabela 7.10: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) [°]	Dec. (J2000.0) [°]	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
169	23.6046276	30.916288	56.4	16.5	0.87
170	23.6057816	30.80858	10.0	11.3	0.93
171	23.6077023	30.55467	1.9	6.7	0.49
172	23.6233692	30.69261	21.9	10.8	0.59
173	23.6240597	30.585678	14.8	21.9	0.54
174	23.6260319	30.943396	8.9	8.8	0.98
175	23.6261215	30.595779	20.5	13.4	1
176	23.6350403	30.59239	11.0	10.3	1.02
177	23.6374931	30.777559	71.0	4.1	0.62
178	23.6475391	30.87019	6.5	9.8	0.87
179	23.6509209	30.60656	9.6	10.3	0.6
180	23.6558228	30.736397	43.7	15.7	0.48
181	23.6624126	30.633205	49.1	20.6	0.41
182	23.6653938	30.654875	11.8	16.5	0.71
183	23.6664333	31.100744	7.6	13.7	0.93
184	23.6702347	30.72678	71.0	9.3	0.87
185	23.6712494	30.724604	120.5	12.9	0.91
186	23.6716156	30.732059	8.3	8.2	0.72
187	23.6778259	30.680971	5.0	10.1	0.62
188	23.6834126	31.030241	9.6	20.6	0.66
189	23.6891575	30.593105	5.9	12.6	0.91
190	23.6911602	30.955309	6.0	12.9	0.91
191	23.6968231	30.573605	5.1	9.5	0.44
192	23.7103233	31.127384	7.6	14.2	0.45
193	23.7186832	30.839504	10.3	21.6	0.98
194	23.7351704	30.60644	8.5	14.4	0.91
195	23.744154	31.169287	6.0	11.3	0.6
196	23.746624	30.671246	5.3	9.3	0.79
197	23.7511501	30.668062	24.6	14.9	0.68
198	23.7516708	31.043427	11.5	18.6	0.52
199	23.7575645	30.664982	38.1	20.6	0.56

*Podaci su preuzeti iz Lee & Lee (2014b).

Tabela 7.11: Optički OSN u NGC 300 galaksiji.

Ime objekta ^a	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^a [$''$]	[S II]/H α ^b odnos
N300-S1	00:54:19.21	-37:37:23.96	1.3	5.4	0.46 \pm 0.29
N300-S2	00:54:21.85	-37:40:27.11	11.0	19.6	0.72 \pm 0.39
N300-S4	00:54:30.62	-37:40:53.75	7.0	13.9	0.93 \pm 0.04
N300-S5	00:54:30.99	-37:37:33.96	8.4	10.4	0.56 \pm 0.47
N300-S6	00:54:31.91	-37:38:25.68	4.2	4.2	0.69
N300-S7	00:54:33.17	-37:40:16.90	5.2	4.2	0.57 \pm 0.41
N300-S8	00:54:38.17	-37:41:14.88	5.0	4.5	0.58 \pm 0.06
N300-S9	00:54:40.20	-37:41:02.12	37.0	9.0	0.53 \pm 0.23
N300-S12	00:54:43.86	-37:43:39.08	2.3	5.1	0.73 \pm 0.27
N300-S13	00:54:46.60	-37:39:44.32	1.9	4.7	0.91 \pm 0.05
N300-S14	00:54:47.15	-37:41:07.63	2.3	5.3	1.08 \pm 0.24
N300-S15	00:54:53.32	-37:38:48.24	3.0	3.2	0.57 \pm 0.39
N300-S16	00:54:54.46	-37:40:35.46	2.2	5.1	0.94 \pm 0.06
N300-S17	00:54:56.68	-37:43:57.70	4.2	5.9	0.96 \pm 0.15
N300-S19	00:55:05.41	-37:41:21.04	9.4	3.7	0.70 \pm 0.42
N300-S20	00:55:05.68	-37:46:13.35	2.3	6.5	0.79 \pm 0.11
N300-S22	00:55:07.50	-37:40:43.20	2.9	7.0	0.46 \pm 0.38
N300-S24	00:55:09.48	-37:40:46.21	2.7	2.9	0.64 \pm 0.13
N300-S25	00:55:10.68	-37:41:27.13	16.0	6.6	0.54 \pm 0.40
N300-S26	00:55:15.46	-37:44:39.11	26.0	3.2	0.86 \pm 0.67
N300-S27	00:55:17.54	-37:44:36.65	6.5	6.4	0.64 \pm 0.48
N300-S28	00:55:33.76	-37:43:13.13	69.0	5.8	0.45 \pm 0.15

Reference: ^aBlair & Long (1997); ^bMillar et al. (2011).

Tabela 7.12: Optički OSN u NGC 4214 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ1	12:15:33.6	36:19:26.9	18.8 \pm 0.2	2.8	0.25 \pm 0.03
LBZ2	12:15:33.8	36:19:12.0	2.4 \pm 0.1	1.7	0.71 \pm 0.15
LBZ3	12:15:33.8	36:19:30.9	22.2 \pm 0.2	2.8	0.24 \pm 0.02
LBZ4	12:15:35.7	36:17:41.6	16.8 \pm 0.2	2.8	0.55 \pm 0.03
LBZ5	12:15:37.6	36:20:12.3	4.1 \pm 0.2	1.7	0.73 \pm 0.16
LBZ6	12:15:37.6	36:20:33.3	8.2 \pm 0.3	3.4	0.79 \pm 0.12
LBZ7	12:15:37.7	36:19:12.9	13.5 \pm 0.3	2.8	0.46 \pm 0.06
LBZ8	12:15:37.8	36:16:12.7	29.1 \pm 0.1	3.4	0.79 \pm 0.02
LBZ9	12:15:39.4	36:19:09.5	7.2 \pm 0.4	2.8	0.53 \pm 0.15
LBZ10	12:15:39.4	36:20:06.5	8.2 \pm 0.4	2.8	0.58 \pm 0.13
LBZ11	12:15:39.6	36:20:11.8	7.4 \pm 0.3	2.8	0.89 \pm 0.15
LBZ12	12:15:39.9	36:20:03.5	5.3 \pm 0.4	2.8	0.64 \pm 0.22
LBZ13	12:15:40.5	36:18:25.4	8.9 \pm 0.2	2.2	0.46 \pm 0.05
LBZ14	12:15:40.9	36:19:50.0	14.0 \pm 0.4	2.8	0.39 \pm 0.07
LBZ15	12:15:41.7	36:18:40.5	3.8 \pm 0.2	2.8	1.01 \pm 0.25
LBZ16	12:15:42.5	36:19:47.7	176.0 \pm 0.5	4.5	0.55 \pm 0.01
LBZ17	12:15:44.7	36:18:31.9	2.6 \pm 0.9	1.7	0.78 \pm 0.12
LBZ18	12:15:45.7	36:19:41.8	6.2 \pm 0.3	3.9	0.57 \pm 0.14
LBZ19	12:15:21.8	36:19:25.0	4.1 \pm 0.1	2.8	0.63 \pm 0.08
LBZ20	12:15:23.1	36:21:45.0	1.4 \pm 0.1	2.8	1.03 \pm 0.24
LBZ21	12:15:23.6	36:17:00.5	3.2 \pm 0.1	2.8	0.61 \pm 0.09
LBZ22	12:15:23.8	36:20:37.4	8.9 \pm 0.1	2.8	0.47 \pm 0.03
LBZ23	12:15:25.9	36:22:04.6	3.1 \pm 0.1	2.8	0.46 \pm 0.09
LBZ24	12:15:30.2	36:16:50.1	12.7 \pm 0.1	2.8	0.40 \pm 0.02
LBZ25	12:15:31.9	36:22:24.3	2.7 \pm 0.1	2.8	0.51 \pm 0.12
LBZ26	12:15:32.1	36:22:05.6	11.1 \pm 0.2	2.8	0.55 \pm 0.04
LBZ27	12:15:32.4	36:22:20.7	8.6 \pm 0.2	2.8	0.37 \pm 0.05
LBZ28	12:15:32.6	36:21:58.5	2.7 \pm 0.1	1.7	0.55 \pm 0.08
LBZ29	12:15:32.7	36:21:50.1	2.9 \pm 0.1	2.8	0.86 \pm 0.14
LBZ30	12:15:32.9	36:22:13.2	10.6 \pm 0.1	2.8	0.66 \pm 0.04
LBZ31	12:15:33.3	36:19:04.4	5.5 \pm 0.2	2.8	0.64 \pm 0.10
LBZ32	12:15:33.3	36:19:25.6	6.8 \pm 0.2	2.8	0.51 \pm 0.09
LBZ33	12:15:33.3	36:21:07.9	7.9 \pm 0.1	2.8	0.38 \pm 0.05
LBZ34	12:15:33.3	36:21:56.4	12.1 \pm 0.2	2.8	0.57 \pm 0.04
LBZ35	12:15:33.4	36:19:01.0	5.5 \pm 0.2	2.8	0.89 \pm 0.11
LBZ36	12:15:34.0	36:21:53.5	5.3 \pm 0.1	2.8	0.43 \pm 0.07
LBZ37	12:15:34.5	36:18:23.9	6.2 \pm 0.2	2.8	0.67 \pm 0.08
LBZ38	12:15:35.2	36:21:18.4	5.8 \pm 0.2	2.8	0.46 \pm 0.07
LBZ39	12:15:35.2	36:22:16.2	8.7 \pm 0.2	3.9	0.98 \pm 0.08
LBZ40	12:15:35.4	36:21:12.2	4.6 \pm 0.2	2.8	0.43 \pm 0.09
LBZ41	12:15:35.8	36:20:52.8	6.3 \pm 0.2	2.8	0.63 \pm 0.09
LBZ42	12:15:35.9	36:20:51.1	9.4 \pm 0.2	2.8	0.61 \pm 0.06

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.12: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ43	12:15:36.2	36:20:48.6	9.9 \pm 0.2	2.8	0.74 \pm 0.07
LBZ44	12:15:36.7	36:20:55.7	16.9 \pm 0.2	2.8	0.53 \pm 0.04
LBZ45	12:15:37.9	36:19:55.6	39.3 \pm 0.4	2.8	0.41 \pm 0.03
LBZ46	12:15:38.0	36:21:16.4	4.3 \pm 0.2	2.8	0.63 \pm 0.13
LBZ47	12:15:38.0	36:22:22.4	66.7 \pm 0.4	5.6	0.63 \pm 0.02
LBZ48	12:15:38.3	36:19:08.6	8.5 \pm 0.3	2.8	0.56 \pm 0.11
LBZ49	12:15:38.3	36:20:09.3	20.5 \pm 0.4	2.8	0.40 \pm 0.05
LBZ50	12:15:38.6	36:20:09.5	14.0 \pm 0.4	2.8	0.78 \pm 0.08
LBZ51	12:15:38.8	36:20:09.7	12.8 \pm 0.4	2.8	0.39 \pm 0.08
LBZ52	12:15:38.9	36:19:16.1	14.0 \pm 0.4	2.8	0.47 \pm 0.07
LBZ53	12:15:39.0	36:19:05.4	7.4 \pm 0.3	2.8	0.89 \pm 0.16
LBZ54	12:15:39.0	36:19:08.6	7.2 \pm 0.4	2.8	0.54 \pm 0.14
LBZ55	12:15:39.2	36:20:12.1	6.5 \pm 0.3	2.8	0.37 \pm 0.14
LBZ56	12:15:39.4	36:20:54.1	2.2 \pm 0.1	2.2	0.89 \pm 0.21
LBZ57	12:15:40.0	36:18:39.4	9.6 \pm 0.2	2.8	0.92 \pm 0.09
LBZ58	12:15:40.2	36:18:41.1	10.8 \pm 0.2	2.8	0.74 \pm 0.08
LBZ59	12:15:40.8	36:19:58.8	15.2 \pm 0.3	2.8	0.54 \pm 0.07
LBZ60	12:15:41.8	36:18:50.5	5.6 \pm 0.3	2.8	0.55 \pm 0.14
LBZ61	12:15:41.9	36:19:35.9	7.4 \pm 0.3	2.8	0.69 \pm 0.13
LBZ62	12:15:42.0	36:19:43.1	8.4 \pm 0.3	2.8	0.83 \pm 0.12
LBZ63	12:15:42.7	36:18:34.1	36.0 \pm 0.3	2.8	0.64 \pm 0.02
LBZ64	12:15:42.8	36:16:58.6	4.3 \pm 0.1	2.8	0.40 \pm 0.07
LBZ65	12:15:44.7	36:18:03.6	6.3 \pm 0.2	2.8	0.55 \pm 0.07
LBZ66	12:15:46.1	36:17:02.0	10.1 \pm 0.1	2.8	0.39 \pm 0.03
LBZ67	12:15:46.2	36:17:39.4	6.7 \pm 0.1	2.8	0.78 \pm 0.05
LBZ68	12:15:47.1	36:17:14.8	4.8 \pm 0.1	2.8	0.56 \pm 0.06
LBZ69	12:15:47.6	36:17:37.2	8.2 \pm 0.1	2.8	0.65 \pm 0.05
LBZ70	12:15:47.7	36:17:35.5	10.1 \pm 0.1	2.8	0.74 \pm 0.04
LBZ71	12:15:47.8	36:17:37.1	7.9 \pm 0.1	2.8	0.71 \pm 0.05
LBZ72	12:15:47.9	36:17:36.7	8.6 \pm 0.1	2.8	0.69 \pm 0.05
LBZ73	12:15:48.8	36:17:02.3	8.9 \pm 0.1	3.4	0.54 \pm 0.05
LBZ74	12:15:33.2	36:16:45.3	5.8 \pm 0.1	2.8	0.33 \pm 0.04
LBZ75	12:15:34.9	36:22:48.5	4.6 \pm 0.1	2.8	0.33 \pm 0.05
LBZ76	12:15:35.4	36:19:44.6	14.0 \pm 0.3	2.8	0.33 \pm 0.06
LBZ77	12:15:35.8	36:21:02.0	27.4 \pm 0.2	3.4	0.33 \pm 0.02
LBZ78	12:15:36.3	36:20:02.6	47.9 \pm 0.4	2.8	0.32 \pm 0.02
LBZ79	12:15:36.6	36:22:44.6	14.2 \pm 0.2	2.8	0.29 \pm 0.02
LBZ80	12:15:38.2	36:19:45.2	94.1 \pm 0.6	5.6	0.35 \pm 0.02
LBZ81	12:15:38.6	36:20:04.6	42.8 \pm 0.4	2.8	0.33 \pm 0.02
LBZ82	12:15:38.9	36:18:58.9	25.7 \pm 0.2	2.2	0.33 \pm 0.02
LBZ83	12:15:40.2	36:19:30.2	410.0 \pm 1.0	2.8	0.36 \pm 0.01
LBZ84	12:15:40.8	36:18:46.3	13.5 \pm 0.3	2.8	0.34 \pm 0.05

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.12: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	$F(H\alpha)$ [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ85	12:15:40.8	36:18:49.9	23.9±0.3	2.8	0.29±0.03
LBZ86	12:15:40.9	36:18:52.8	23.9±0.3	2.8	0.33±0.03
LBZ87	12:15:41.9	36:19:15.5	83.8±0.5	3.4	0.36±0.01
LBZ88	12:15:42.9	36:18:13.3	23.9±0.2	2.8	0.36±0.02
LBZ89	12:15:43.1	36:16:49.6	17.1±0.2	2.8	0.35±0.02
LBZ90	12:15:43.6	36:16:50.0	20.5±0.2	2.8	0.33±0.02
LBZ91	12:15:44.7	36:22:53.3	2.7±0.1	2.8	0.36±0.10
LBZ92	12:15:50.8	36:21:25.0	5.5±0.1	2.8	0.31±0.04

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.13: Optički OSN u NGC 2403 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
MF1 ^a	70:36:21.2	65:40:56.4	12	3.9	0.45
LBZ1	07:36:30.4	65:35:43.4	107.0 \pm 0.4	4.5	0.38 \pm 0.01
LBZ2	07:36:35.2	65:37:17.5	19.4 \pm 0.5	2.8	0.66 \pm 0.03
LBZ3	07:36:41.1	65:36:18.0	12.8 \pm 0.4	3.4	0.91 \pm 0.05
LBZ4	07:36:48.3	65:34:40.3	39.3 \pm 0.5	4.5	0.36 \pm 0.01
LBZ5	07:36:50.6	65:35:35.8	101.0 \pm 0.6	3.4	0.36 \pm 0.01
LBZ6	07:36:55.4	65:35:42.2	187.0 \pm 0.7	3.4	0.63 \pm 0.03
LBZ7	07:37:03.2	65:35:51.8	14.3 \pm 0.4	2.8	0.31 \pm 0.02
LBZ8	07:37:03.2	65:37:13.7	6.0 \pm 0.6	3.4	0.81 \pm 0.09
LBZ9	07:37:03.5	65:37:17.4	34.2 \pm 0.5	3.4	0.30 \pm 0.01
LBZ10	07:37:04.9	65:36:10.7	5.5 \pm 0.5	2.8	0.33 \pm 0.05
LBZ11	07:37:16.0	65:33:28.9	13.3 \pm 0.7	3.4	0.34 \pm 0.03
LBZ12	07:37:21.4	65:33:06.9	9.0 \pm 0.5	3.4	0.54 \pm 0.03
LBZ13	07:36:08.4	65:37:45.6	39.3 \pm 0.5	5.6	0.64 \pm 0.01
LBZ14	07:36:09.4	65:37:45.1	22.0 \pm 0.3	3.4	0.41 \pm 0.01
LBZ15	07:36:12.8	65:38:16.0	22.0 \pm 0.3	4.5	0.55 \pm 0.01
LBZ16	07:36:17.6	65:37:11.8	15.8 \pm 0.5	4.5	0.42 \pm 0.03
LBZ17	07:36:18.1	65:37:03.4	31.7 \pm 0.4	4.5	0.71 \pm 0.02
LBZ18	07:36:19.0	65:37:29.6	24.0 \pm 0.6	4.5	0.54 \pm 0.03
LBZ19	07:36:19.5	65:37:26.3	37.8 \pm 0.6	4.5	0.43 \pm 0.02
LBZ20	07:36:19.5	65:37:37.2	13.8 \pm 0.4	3.4	0.53 \pm 0.03
LBZ21	07:36:19.9	65:37:57.7	20.9 \pm 0.4	4.5	0.52 \pm 0.02
LBZ22	07:36:24.1	65:36:07.2	2.35 \pm 0.1	2.8	0.43 \pm 0.04
LBZ23	07:36:20.2	65:36:53.5	27.6 \pm 0.5	4.5	0.72 \pm 0.02
LBZ24	07:36:20.5	07:36:20.6	23.5 \pm 0.4	3.4	0.38 \pm 0.02
LBZ25	07:36:20.8	65:39:02.9	22.0 \pm 0.5	4.5	0.53 \pm 0.02
LBZ26	07:36:21.5	65:37:36.8	50.1 \pm 0.5	5.6	0.73 \pm 0.01
LBZ27	07:36:23.8	65:38:45.8	51.1 \pm 0.6	4.5	0.39 \pm 0.01
LBZ28	07:36:26.0	65:37:58.8	18.4 \pm 0.5	4.5	0.99 \pm 0.03
LBZ29	07:36:27.0	65:37:04.8	23 \pm 0.4	3.4	0.47 \pm 0.02
LBZ30	07:36:27.2	65:38:53.4	22 \pm 0.4	3.4	0.70 \pm 0.02
LBZ31	07:36:27.4	65:38:48.2	17.4 \pm 0.4	3.4	0.63 \pm 0.02
LBZ32	07:36:29.2	65:37:00.1	3.68 \pm 0.3	2.8	1.17 \pm 0.12
LBZ33	07:36:29.9	65:40:28.8	12.3 \pm 0.1	4.5	0.70 \pm 0.01
LBZ34	07:36:32.1	65:37:04.1	59.4 \pm 0.3	3.4	0.40 \pm 0.01
LBZ35	07:36:34.6	65:37:21.9	5.62 \pm 0.4	2.8	0.77 \pm 0.09
LBZ36	07:36:35.3	65:37:03.8	26 \pm 0.3	3.4	0.84 \pm 0.02
LBZ37	07:36:35.4	65:36:45.8	42.3 \pm 0.4	3.4	0.48 \pm 0.01
LBZ38	07:36:35.4	65:36:58.8	38.3 \pm 0.4	3.4	0.41 \pm 0.02
LBZ39	07:36:35.5	65:37:49.5	28.1 \pm 0.6	4.5	0.58 \pm 0.02
LBZ40	07:36:35.6	65:37:38.0	28.1 \pm 0.6	4.5	0.60 \pm 0.02

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013), osim za MF1.
Preuzeto iz: ^aMatonick et al. (1997).

Tabela 7.13: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ41	07:36:35.7	65:37:59.5	14.3 \pm 0.4	3.4	0.58 \pm 0.03
LBZ42	07:36:36.3	65:38:05.6	11.7 \pm 0.4	3.4	0.68 \pm 0.04
LBZ43	07:36:36.4	65:37:11.5	9.8 \pm 0.3	3.4	0.70 \pm 0.06
LBZ44	07:36:36.9	65:36:51.0	30.9 \pm 0.7	5.6	1.12 \pm 0.03
LBZ45	07:36:37.5	65:36:31.5	23.8 \pm 0.4	3.4	0.62 \pm 0.03
LBZ46	07:36:37.8	65:37:03.6	40.3 \pm 0.3	3.4	0.47 \pm 0.01
LBZ47	07:36:37.9	65:37:52.8	46.5 \pm 0.7	4.5	0.52 \pm 0.01
LBZ48	07:36:38.8	07:36:38.8	33.4 \pm 0.3	3.4	0.58 \pm 0.02
LBZ49	07:36:40.8	65:36:20.6	27.6 \pm 0.4	3.4	0.41 \pm 0.02
LBZ50	07:36:40.8	65:36:34.9	12.5 \pm 0.3	3.4	1.02 \pm 0.05
LBZ51	07:36:41.0	65:36:48.6	36.1 \pm 0.4	3.4	0.48 \pm 0.02
LBZ52	07:36:41.1	65:37:05.0	50.6 \pm 0.4	4.5	0.51 \pm 0.01
LBZ53	07:36:41.2	65:36:52.7	48.2 \pm 0.4	3.4	0.48 \pm 0.01
LBZ54	07:36:41.3	65:38:58.2	36.8 \pm 0.4	4.5	0.44 \pm 0.01
LBZ55	07:36:41.5	65:36:50.5	35.3 \pm 0.4	3.4	0.40 \pm 0.02
LBZ56	07:36:41.9	65:36:51.7	66.7 \pm 0.4	3.4	0.44 \pm 0.01
LBZ57	07:36:42.0	65:37:10.6	13.7 \pm 0.3	3.4	1.31 \pm 0.04
LBZ58	07:36:42.5	65:37:02.8	49.7 \pm 0.4	3.4	0.41 \pm 0.01
LBZ59	07:36:42.5	65:39:03.7	18.9 \pm 0.2	3.4	0.42 \pm 0.01
LBZ60	07:36:42.9	65:34:51.9	8.9 \pm 0.3	3.4	0.67 \pm 0.03
LBZ61	07:36:44.1	65:39:10.9	16.9 \pm 0.3	3.4	0.49 \pm 0.02
LBZ62	07:36:44.2	65:36:45.7	18.8 \pm 0.4	3.4	0.97 \pm 0.04
LBZ63	07:36:44.2	65:37:20.5	18.9 \pm 0.6	3.4	0.54 \pm 0.03
LBZ64	07:36:45.2	65:36:35.8	32.5 \pm 0.4	3.4	0.46 \pm 0.02
LBZ65	07:36:45.3	65:36:42.0	64.3 \pm 0.5	3.4	0.48 \pm 0.01
LBZ66	07:36:45.7	65:36:40.6	155 \pm 0.6	3.4	0.96 \pm 0.01
LBZ67	07:36:45.8	65:36:36.0	84.4 \pm 0.4	2.8	0.39 \pm 0.01
LBZ68	07:36:46.0	65:37:43.2	22 \pm 0.5	3.4	0.55 \pm 0.02
LBZ69	07:36:46.0	65:39:06.0	86.8 \pm 0.6	6.7	0.46 \pm 0.01
LBZ70	07:36:46.4	07:36:46.4	44.4 \pm 0.6	3.4	0.47 \pm 0.01
LBZ71	07:36:47.0	65:39:44.6	11.2 \pm 0.2	4.5	0.62 \pm 0.01
LBZ72	07:36:47.1	65:36:54.5	11.3 \pm 0.4	2.8	0.56 \pm 0.05
LBZ73	07:36:47.7	65:36:07.1	3.2 \pm 0.6	3.4	0.65 \pm 0.18
LBZ74	07:36:47.9	65:36:23.9	13.1 \pm 0.6	3.4	0.77 \pm 0.07
LBZ75	07:36:48.0	65:37:56.4	19.4 \pm 0.4	2.8	0.46 \pm 0.02
LBZ76	07:36:48.1	65:36:59.3	15.9 \pm 0.4	3.4	0.77 \pm 0.04
LBZ77	07:36:48.3	65:34:58.5	6.1 \pm 0.5	3.4	0.40 \pm 0.05
LBZ78	07:36:48.5	65:37:50.7	29.6 \pm 0.6	4.5	0.55 \pm 0.02
LBZ79	07:36:48.9	65:35:30.3	7.3 \pm 0.6	3.4	0.37 \pm 0.05
LBZ80	07:36:49.5	65:34:39.5	4.4 \pm 0.4	3.4	0.48 \pm 0.06
LBZ81	07:36:50.9	65:36:24.5	62 \pm 1.0	5.6	0.65 \pm 0.03
LBZ82	07:36:51.1	65:33:51.7	4.9 \pm 0.1	2.8	0.77 \pm 0.02

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.13: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ83	07:36:51.1	65:36:36.6	26.4 \pm 0.5	3.4	0.58 \pm 0.03
LBZ84	07:36:51.1	65:36:55.8	41.4 \pm 0.7	3.4	0.45 \pm 0.01
LBZ85	07:36:51.5	65:35:36.4	10.1 \pm 0.7	3.4	0.65 \pm 0.06
LBZ86	07:36:51.5	65:36:09.5	19 \pm 0.7	3.4	0.53 \pm 0.06
LBZ87	07:36:52.2	65:33:41.9	3.8 \pm 0.1	3.4	0.99 \pm 0.03
LBZ88	07:36:52.9	65:36:13.8	35.6 \pm 0.6	3.4	0.47 \pm 0.03
LBZ89	07:36:53.4	65:35:59.8	58.4 \pm 0.6	3.4	0.59 \pm 0.02
LBZ90	07:36:53.8	65:33:41.7	68.8 \pm 0.2	4.5	0.44 \pm 0.01
LBZ91	07:36:54.3	65:34:04.0	3.2 \pm 0.2	2.8	0.80 \pm 0.06
LBZ92	07:36:54.4	65:35:11.0	4.0 \pm 0.4	2.8	0.63 \pm 0.07
LBZ93	07:36:55.1	65:35:38.1	78.1 \pm 0.9	5.6	0.55 \pm 0.01
LBZ94	07:36:55.6	65:35:36.1	31.9 \pm 0.6	3.4	0.43 \pm 0.02
LBZ95	07:36:55.8	65:35:38.6	33.8 \pm 0.6	3.4	0.42 \pm 0.01
LBZ96	07:36:57.2	65:36:03.9	5.7 \pm 0.6	3.4	1.21 \pm 0.13
LBZ97	07:36:58.1	65:36:28.7	20.6 \pm 0.8	5.6	0.73 \pm 0.03
LBZ98	07:36:59.3	65:35:38.0	19.1 \pm 0.5	3.4	0.51 \pm 0.02
LBZ99	07:37:00.0	65:37:28.9	10.2 \pm 0.5	3.4	0.39 \pm 0.04
LBZ100	07:37:01.3	65:34:38.4	26.3 \pm 0.4	3.4	0.40 \pm 0.01
LBZ101	07:37:01.4	65:34:35.7	15.5 \pm 0.4	3.4	0.52 \pm 0.02
LBZ102	07:37:01.8	65:34:13.4	98.9 \pm 0.6	5.6	0.51 \pm 0.01
LBZ103	07:37:02.4	65:36:01.7	18.7 \pm 0.4	3.4	0.51 \pm 0.01
LBZ104	07:37:02.8	65:34:38.1	37.1 \pm 0.4	3.4	0.48 \pm 0.01
LBZ105	07:37:03.5	65:37:25.2	14.8 \pm 0.4	3.4	0.60 \pm 0.03
LBZ106	07:37:06.4	65:34:46.1	13.0 \pm 0.5	3.4	0.43 \pm 0.02
LBZ107	07:37:10.7	65:33:11.0	9.85 \pm 0.5	2.8	0.42 \pm 0.03
LBZ108	07:37:12.4	65:33:45.9	6.4 \pm 0.6	3.4	0.65 \pm 0.07
LBZ109	07:37:21.6	65:33:14.4	5.57 \pm 0.4	3.4	0.38 \pm 0.03
LBZ110	07:36:22.8	65:36:54.2	66.4 \pm 0.5	4.5	0.34 \pm 0.01
LBZ111	07:36:25.6	65:36:12.4	43.8 \pm 0.2	3.4	0.38 \pm 0.01
LBZ112	07:36:25.7	65:38:49.6	45.5 \pm 0.6	3.4	0.37 \pm 0.01
LBZ113	07:36:26.9	65:37:01.8	29.1 \pm 0.4	3.4	0.37 \pm 0.01
LBZ114	07:36:27.5	65:37:43.6	45.5 \pm 0.5	4.5	0.37 \pm 0.01
LBZ115	07:36:30.5	65:35:24.4	25.9 \pm 0.3	4.5	0.29 \pm 0.01
LBZ116	07:36:30.7	65:35:48.6	74.2 \pm 0.3	4.5	0.33 \pm 0.01
LBZ117	07:36:37.0	65:36:35.4	110 \pm 0.4	3.4	0.32 \pm 0.01
LBZ118	07:36:37.0	65:36:39.1	311 \pm 0.6	4.5	0.37 \pm 0.01
LBZ119	07:36:38.1	65:36:26.2	151 \pm 0.5	3.4	0.30 \pm 0.01
LBZ120	07:36:40.2	65:39:22.0	23 \pm 0.2	3.4	0.37 \pm 0.01
LBZ121	07:36:42.5	65:36:11.6	70.8 \pm 0.4	3.4	0.29 \pm 0.01
LBZ122	07:36:42.7	65:36:59.4	71.4 \pm 0.4	3.4	0.33 \pm 0.01
LBZ123	07:36:44.2	65:35:02.6	71.2 \pm 0.4	3.4	0.29 \pm 0.01
LBZ124	07:36:44.9	65:36:05.9	31.7 \pm 0.4	3.4	0.32 \pm 0.02

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.13: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ125	07:36:45.9	65:39:39.6	19.9 \pm 0.2	4.5	0.35 \pm 0.01
LBZ126	07:36:46.3	65:35:57.9	55.5 \pm 0.5	3.4	0.31 \pm 0.01
LBZ127	07:36:46.5	65:36:10.8	175 \pm 0.6	3.4	0.32 \pm 0.01
LBZ128	07:36:47.5	65:36:19.9	47.7 \pm 0.6	3.4	0.35 \pm 0.02
LBZ129	07:36:47.6	07:36:47.5	29.6 \pm 0.5	3.4	0.36 \pm 0.01
LBZ130	07:36:47.9	65:36:26.3	52.4 \pm 0.6	3.4	0.37 \pm 0.02
LBZ131	07:36:49.2	65:34:30.6	31.2 \pm 0.6	5.6	0.31 \pm 0.01
LBZ132	07:36:49.3	65:36:21.6	89.5 \pm 0.6	3.4	0.34 \pm 0.01
LBZ133	07:36:50.1	65:36:48.9	79 \pm 0.6	3.4	0.32 \pm 0.01
LBZ134	07:36:51.0	65:36:14.3	41.2 \pm 0.7	3.4	0.30 \pm 0.02
LBZ135	07:36:52.7	65:35:50.2	168 \pm 0.8	4.5	0.35 \pm 0.01
LBZ136	07:36:53.2	65:35:54.1	19.7 \pm 0.8	3.4	0.32 \pm 0.03
LBZ137	07:36:53.7	65:35:11.5	10.9 \pm 0.4	2.8	0.37 \pm 0.02
LBZ138	07:36:53.8	65:35:32.1	31.5 \pm 0.5	3.4	0.29 \pm 0.02
LBZ139	07:36:56.3	65:34:05.6	48.6 \pm 0.4	4.5	0.31 \pm 0.01
LBZ140	07:36:57.4	65:33:58.8	19 \pm 0.3	3.4	0.34 \pm 0.01
LBZ141	07:36:57.9	65:37:31.6	29.6 \pm 0.5	3.4	0.29 \pm 0.01
LBZ142	07:36:58.2	65:34:07.7	20.3 \pm 0.3	3.4	0.35 \pm 0.01
LBZ143	07:37:01.3	65:34:59.5	13.4 \pm 0.4	2.8	0.37 \pm 0.02
LBZ144	07:37:01.9	65:33:42.6	9.8 \pm 0.5	2.8	0.27 \pm 0.03
LBZ145	07:37:02.1	65:34:36.6	36.9 \pm 0.4	3.4	0.35 \pm 0.01
LBZ146	07:37:03.0	65:33:46.1	8.1 \pm 0.5	3.4	0.33 \pm 0.03
LBZ147	07:37:04.6	65:36:38.2	31.7 \pm 0.6	3.4	0.38 \pm 0.01
LBZ148	07:37:04.7	65:34:35.9	26.9 \pm 0.4	3.4	0.34 \pm 0.01
LBZ149	07:37:05.8	65:34:32.2	34 \pm 0.5	5.6	0.31 \pm 0.01

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.14: Optički OSN u M82 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar [$''$]	[S II]/H α odnos
1	09:55:54.71	69:40:55.6	3.7	0.3	/
2	09:55:55.17	69:40:55.3	5.9	0.2	/
3	09:55:55.17	69:41:06.5	2.3	1.1	/
4	09:55:55.77	69:40:58.7	2.5	0.4	/
5	09:55:55.98	69:40:57.0	2.1	0.7	/
6	09:55:57.48	69:41:03.1	1.5	0.5	/
7	09:55:58.03	69:40:51.1	0.9	0.4	/
8	09:55:58.03	69:41:04.5	1.2	0.8	/
9	09:55:58.36	69:40:58.4	1.0	0.4	/
10	09:55:58.42	69:40:51.2	0.9	0.5	/

*Podaci su preuzeti iz de Grijs et al. (2000).

Tabela 7.15: Optički OSN u M81 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
1	09:54:44.8	69:04:24.3	4.7	6.9	1.20
2	09:54:46.3	69:03:28.6	1.6	3.4	0.72
3	09:54:47.5	69:03:56.5	3.6	2.9	0.71
4	09:54:51.3	69:02:58.5	2.9	2.3	0.58
5	09:54:54.6	69:09:20.2	2.8	1.1	0.53
6	09:54:55.1	69:01:14.6	1.4	2.3	0.86
7	09:55:00.2	69:08:05.8	1.9	1.1	1.01
8	09:55:04.5	69:05:55.2	0.9	/	1.28
9	09:55:04.8	69:05:51.2	0.9	0.6	1.27
10	09:55:07.3	69:03:14.0	1.7	1.7	1.10
11	09:55:09.6	69:04:14.6	1.4	2.3	1.58
12	09:55:10.5	69:08:47.0	1.1	2.3	1.04
13	09:55:14.5	69:07:41.4	1.5	/	1.07
14	09:55:16.3	69:03:02.4	7.9	5.4	0.58
15	09:55:18.2	69:07:17.7	3.4	1.1	0.63
16	09:55:19.3	69:09:32.7	4.6	1.7	0.63
17	09:55:20.0	69:07:33.2	8.6	1.7	1.22
18	09:55:21.7	69:01:47.2	36.0	7.4	0.70
19	09:55:21.7	69:08:32.0	9.4	1.1	0.53
20	09:55:22.7	69:12:55.7	1.1	2.3	0.94
21	09:55:32.2	68:56:47.7	1.2	1.1	1.17
22	09:55:32.7	69:00:32.9	11.0	5.2	0.85
23	09:55:33.8	69:00:40.2	1.7	/	1.26
24	09:55:41.5	69:07:02.0	1.6	/	0.76
25	09:55:42.2	69:07:00.9	3.9	0.6	0.93
26	09:55:52.4	69:05:22.2	2.2	/	0.88
27	09:55:52.5	68:59:16.6	5.8	/	0.62
28	09:56:04.2	68:59:16.2	6.4	0.6	0.49
29	09:56:04.7	68:59:00.1	4.4	/	0.66
30	09:56:11.7	68:57:35.2	4.8	5.2	0.67
31	09:56:15.6	69:04:59.4	0.8	/	1.48
32	09:56:16.0	69:00:51.7	0.8	1.1	1.64
33	09:56:16.4	69:02:39.5	2.3	1.1	1.33
34	09:56:18.3	69:00:28.3	0.7	/	1.16
35	09:56:21.9	69:05:01.2	4.3	1.7	1.02
36	09:56:23.2	69:04:14.6	5.0	/	0.70
37	09:56:24.7	69:04:27.5	2.5	/	0.95
38	09:56:25.9	69:04:17.0	1.7	/	1.02
39	09:56:29.7	68:55:53.9	0.6	1.1	1.56
40	09:56:29.9	68:56:16.6	20.0	5.7	0.45
41	09:56:31.3	69:01:23.2	1.1	3.4	0.88

*Podaci su preuzeti iz Matonick & Fesen (1997).

Tabela 7.16: Optički OSN u NGC 3077 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ1	10:03:14.2	68:43:52.1	10.3 \pm 0.7	2.2	0.45 \pm 0.08
LBZ2	10:03:16.5	68:44:41.8	7.0 \pm 0.4	2.2	0.51 \pm 0.08
LBZ3	10:03:17.1	68:44:37.5	24.5 \pm 0.6	2.8	0.28 \pm 0.02
LBZ4	10:03:18.4	68:43:19.3	13.7 \pm 0.6	2.8	0.28 \pm 0.04
LBZ5	10:03:18.8	68:43:37.9	3.6 \pm 0.7	2.2	0.75 \pm 0.34
LBZ6	10:03:23.4	68:44:14.8	9.9 \pm 0.8	2.2	0.34 \pm 0.08
LBZ7	10:03:14.9	68:43:47.2	7.4 \pm 0.7	2.2	0.71 \pm 0.16
LBZ8	10:03:15.7	68:43:48.3	4.8 \pm 0.8	2.2	0.51 \pm 0.22
LBZ9	10:03:16.5	68:44:35.6	4.6 \pm 0.5	2.2	0.64 \pm 0.16
LBZ10	10:03:16.6	68:43:44.7	9.9 \pm 0.8	2.2	0.41 \pm 0.09
LBZ11	10:03:16.8	68:44:31.9	7.9 \pm 0.5	2.2	0.45 \pm 0.08
LBZ12	10:03:18.1	68:44:32.6	8.3 \pm 0.6	2.2	0.45 \pm 0.08
LBZ13	10:03:18.1	68:44:36.0	5.7 \pm 0.5	2.2	0.47 \pm 0.12
LBZ14	10:03:18.6	68:44:30.1	6.6 \pm 0.4	1.7	0.43 \pm 0.08
LBZ15	10:03:19.4	68:43:15.4	10.5 \pm 0.5	2.2	0.40 \pm 0.05
LBZ16	10:03:20.3	68:44:29.0	11.1 \pm 0.6	2.2	0.49 \pm 0.07
LBZ17	10:03:22.3	68:43:56.1	9.7 \pm 0.8	2.2	0.40 \pm 0.10
LBZ18	10:03:22.7	68:44:15.8	9.0 \pm 0.8	2.2	0.58 \pm 0.13
LBZ19	10:03:14.0	68:44:01.4	18.3 \pm 0.7	2.2	0.29 \pm 0.04
LBZ20	10:03:14.4	68:43:59.2	16.9 \pm 0.8	2.2	0.29 \pm 0.04
LBZ21	10:03:15.1	68:44:25.1	17.5 \pm 0.6	2.2	0.32 \pm 0.03
LBZ22	10:03:17.7	68:44:31.0	11.8 \pm 0.6	2.2	0.31 \pm 0.05
LBZ23	10:03:17.8	68:43:12.0	13.4 \pm 0.5	2.2	0.29 \pm 0.03
LBZ24	10:03:20.8	68:41:40.2	4.2 \pm 0.2	2.2	0.29 \pm 0.05

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.17: Optički OSN u NGC 7793 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
N7793-S1	23:57:41.06	-32:34:39.67	2.3	3.0	0.58
N7793-S2	23:57:41.13	-32:33:21.87	10.0	6.2	0.37
N7793-S3	23:57:41.57	-32:35:39.27	5.1	4.3	0.51
N7793-S4	23:57:42.93	-32:35:52.96	4.7	2.3	0.37
N7793-S5	23:57:43.45	-32:37:03.36	6.4	3.7	0.37
N7793-S6	23:57:46.31	-32:35:33.26	5.5	9.5	0.63
N7793-S7	23:57:46.42	-32:36:40.76	19.6	5.7	0.43
N7793-S8	23:57:47.32	-32:37:41.66	2.7	2.8	0.60
N7793-S9	23:57:47.36	-32:37:35.26	11.1	9.5	0.37
N7793-S10	23:57:48.09	-32:35:03.76	5.3	2.0	0.58
N7793-S11	23:57:48.11	-32:36:56.16	8.9	2.7	0.53
N7793-S12	23:57:49.57	-32:35:25.06	9.9	1.6	0.70
N7793-S13	23:57:51.02	-32:36:32.56	7.3	4.2	0.73
N7793-S14	23:57:52.45	-32:33:54.55	1.2	3.7	0.60
N7793-S15	23:57:54.12	-32:34:04.65	15.4	4.3	0.36
N7793-S16	23:57:54.33	-32:35:13.45	1.5	1.8	0.60
N7793-S17	23:57:54.90	-32:33:55.75	21.2	6.3	0.35
N7793-S18	23:57:55.24	-32:34:35.15	26.0	5.3	0.35
N7793-S19	23:57:55.56	-32:37:21.05	29.8	11.7	0.36
N7793-S20	23:57:56.00	-32:37:18.85	9.6	1.6	0.53
N7793-S21	23:57:56.30	-32:36:11.05	15.9	2.9	0.35
N7793-S22	23:57:58.22	-32:35:23.95	13.2	4.7	0.26
N7793-S23	23:57:58.63	-32:36:41.55	0.9	1.6	0.58
N7793-S24	23:57:58.95	-32:36:06.75	17.9	3.1	0.45
N7793-S25	23:57:59.59	-32:36:18.95	17.3	10.3	0.35
N7793-S27	23:58:06.30	-32:35:12.84	5.6	5.7	0.50
N7793-S28	23:58:06.35	-32:35:38.24	1.8	3.1	0.46

*Podaci su preuzeti iz Blair & Long (1997).

Tabela 7.18: Optički OSN u NGC 4449 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ1	12:28:07.3	44:04:44.9	3.8 \pm 0.2	2.2	0.93 \pm 0.21
LBZ2	12:28:07.4	44:05:51.6	8.0 \pm 0.3	2.8	0.54 \pm 0.08
LBZ3	12:28:09.5	44:05:49.2	19.0 \pm 0.4	2.8	0.39 \pm 0.05
LBZ4	12:28:11.8	44:05:13.9	17.0 \pm 0.5	2.8	0.30 \pm 0.06
LBZ5	12:28:11.9	44:04:49.4	7.5 \pm 0.3	2.8	0.59 \pm 0.10
LBZ6b	12:28:12.6	44:06:38.1	2.9 \pm 0.2	1.7	0.34 \pm 0.16
LBZ6a	12:28:12.7	44:06:39.5	3.1 \pm 0.2	1.7	0.62 \pm 0.19
LBZ7	12:28:13.0	44:06:06.1	77.0 \pm 0.6	2.8	0.24 \pm 0.01
LBZ8	12:28:13.0	44:06:28.8	24.0 \pm 0.4	2.8	0.36 \pm 0.03
LBZ9	12:28:13.1	44:06:34.9	41.0 \pm 0.5	2.8	0.27 \pm 0.02
LBZ10	12:28:13.1	44:06:22.7	20.0 \pm 0.5	3.4	0.36 \pm 0.05
LBZ11	12:28:13.2	44:06:41.9	4.1 \pm 0.3	2.2	0.91 \pm 0.23
LBZ12	12:28:13.3	44:05:56.1	17.0 \pm 0.6	2.8	0.77 \pm 0.10
LBZ13	12:28:14.4	44:05:45.4	7.9 \pm 0.5	2.8	0.63 \pm 0.16
LBZ14	12:28:14.9	44:05:29.3	4.3 \pm 0.3	2.2	0.79 \pm 0.19
LBZ15	12:28:14.9	44:06:56.3	8.4 \pm 0.3	2.8	0.35 \pm 0.07
LBZ16	12:28:15.1	44:06:08.5	5.8 \pm 0.2	1.7	0.51 \pm 0.10
LBZ17	12:28:16.2	44:06:15.6	3.4 \pm 0.2	1.7	0.68 \pm 0.16
LBZ18	12:28:19.5	44:06:13.9	6.0 \pm 0.3	2.8	1.12 \pm 0.17
LBZ19	12:27:55.8	44:05:35.7	11.0 \pm 0.2	2.8	0.37 \pm 0.03
LBZ20	12:28:04.1	44:05:45.1	8.7 \pm 0.2	2.8	0.52 \pm 0.05
LBZ21	12:28:06.9	44:03:26.4	24.0 \pm 0.2	2.8	0.46 \pm 0.05
LBZ22	12:28:07.0	44:04:29.4	3.6 \pm 0.3	2.8	0.45 \pm 0.05
LBZ23	12:28:07.8	44:05:43.7	9.6 \pm 0.3	2.8	0.80 \pm 0.10
LBZ24	12:28:08.5	44:05:42.8	5.1 \pm 0.4	2.8	0.53 \pm 0.07
LBZ25	12:28:08.6	44:04:45.0	14.0 \pm 0.3	2.8	0.43 \pm 0.05
LBZ26	12:28:08.6	44:05:56.3	10.0 \pm 0.3	2.8	0.67 \pm 0.11
LBZ27	12:28:08.8	44:04:48.4	15.0 \pm 0.4	2.8	0.37 \pm 0.04
LBZ28	12:28:08.9	44:05:35.1	19.0 \pm 0.5	2.8	0.41 \pm 0.06
LBZ29	12:28:09.4	44:06:00.2	11.0 \pm 0.3	2.8	0.54 \pm 0.07
LBZ30	12:28:09.4	44:06:47.6	13.0 \pm 0.3	2.8	0.43 \pm 0.10
LBZ31	12:28:09.5	44:05:34.9	6.3 \pm 0.6	2.8	1.13 \pm 0.35
LBZ32	12:28:09.5	44:05:57.6	19.0 \pm 0.4	2.8	0.40 \pm 0.04
LBZ33	12:28:09.6	44:06:21.2	5.5 \pm 0.3	2.8	0.54 \pm 0.13
LBZ34	12:28:09.8	44:07:00.9	26.0 \pm 0.2	2.8	0.51 \pm 0.08
LBZ35	12:28:10.5	44:05:08.1	18.0 \pm 0.6	2.8	0.52 \pm 0.09
LBZ36	12:28:10.6	44:06:06.9	10.0 \pm 0.4	2.8	0.34 \pm 0.07
LBZ37	12:28:11.0	44:06:14.1	13.0 \pm 0.4	2.8	0.36 \pm 0.06
LBZ38	12:28:11.2	44:04:53.7	14.0 \pm 0.4	2.8	0.37 \pm 0.06
LBZ39	12:28:12.0	44:05:18.8	22.0 \pm 0.6	2.8	0.58 \pm 0.24
LBZ40	12:28:12.0	44:06:52.6	3.9 \pm 0.4	2.8	0.94 \pm 0.29
LBZ41	12:28:12.2	44:06:47.4	8.2 \pm 0.4	2.8	0.54 \pm 0.10

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.18: nastavak*

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ42	12:28:12.2	44:06:50.9	7.5 \pm 0.4	2.8	0.36 \pm 0.09
LBZ43-1	12:28:13.8	44:06:35.2	6.5 \pm 0.4	2.8	0.85 \pm 0.31
LBZ44-2	12:28:14.0	44:06:33.7	10.0 \pm 0.4	2.8	0.44 \pm 0.07
LBZ45-3	12:28:14.0	44:06:35.4	11.0 \pm 0.4	2.8	0.51 \pm 0.13
LBZ46	12:28:14.1	44:05:59.0	8.2 \pm 0.5	2.8	0.79 \pm 0.16
LBZ47	12:28:14.1	44:06:31.0	15.0 \pm 0.4	2.8	0.53 \pm 0.16
LBZ48	12:28:14.2	44:05:07.1	14.0 \pm 0.3	2.8	0.59 \pm 0.16
LBZ49	12:28:14.2	44:05:10.1	5.8 \pm 0.3	2.8	0.41 \pm 0.05
LBZ50	12:28:14.4	44:06:01.7	11.0 \pm 0.5	2.8	0.46 \pm 0.09
LBZ51	12:28:14.4	44:06:24.6	15.0 \pm 0.5	3.4	0.50 \pm 0.07
LBZ52	12:28:14.5	44:06:04.4	12.0 \pm 0.5	2.8	0.44 \pm 0.07
LBZ53	12:28:14.6	44:06:02.2	8.2 \pm 0.5	2.8	0.48 \pm 0.10
LBZ54	12:28:15.2	44:06:04.0	8.7 \pm 0.4	2.8	0.43 \pm 0.04
LBZ55	12:28:15.3	44:05:57.8	17.0 \pm 0.4	2.8	0.75 \pm 0.14
LBZ56	12:28:15.4	44:06:56.3	14.0 \pm 0.3	2.8	0.81 \pm 0.23
LBZ57	12:28:19.2	44:06:55.7	3.0 \pm 0.2	2.8	0.55 \pm 0.07
LBZ58	12:28:07.9	44:05:20.5	7.0 \pm 0.4	2.8	0.28 \pm 0.04
LBZ59	12:28:08.5	44:04:43.4	16.0 \pm 0.3	2.8	0.35 \pm 0.04
LBZ60	12:28:09.7	44:05:54.8	22.0 \pm 0.4	2.8	0.27 \pm 0.03
LBZ61	12:28:11.8	44:05:16.7	24.0 \pm 0.6	2.8	0.25 \pm 0.08
LBZ62	12:28:11.9	44:05:08.4	5.1 \pm 0.5	2.8	0.32 \pm 0.04
LBZ63	12:28:11.9	44:05:10.2	22.0 \pm 0.5	2.8	0.27 \pm 0.04
LBZ64	12:28:14.2	44:06:18.7	26.0 \pm 0.4	2.8	0.27 \pm 0.03
LBZ65	12:28:14.3	44:04:33.4	12.0 \pm 0.2	2.8	0.35 \pm 0.03
LBZ66	12:28:14.6	44:05:16.9	24.0 \pm 0.4	2.8	0.30 \pm 0.03
LBZ67	12:28:14.9	44:04:45.9	256.0 \pm 0.2	2.8	0.34 \pm 0.02
LBZ68	12:28:18.8	44:06:54.3	13.0 \pm 0.2	2.8	0.32 \pm 0.03
LBZ69	12:28:18.9	44:06:09.2	20.0 \pm 0.3	2.8	0.33 \pm 0.03
LBZ70	12:28:18.9	44:06:18.7	5.6 \pm 0.3	2.8	0.31 \pm 0.05

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.19: Optički OSN u M83 galaksiji.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar [$''$]	[S II]/H α odnos
M83-SNR-1-02 ^a	13:36:58.885	-29:52:26.02	0.0	0.9	/
M83-SNR-1-03 ^a	13:36:59.166	-29:51:47.96	2.4	0.6	/
M83-SNR-1-06 ^a	13:37:00.068	-29:52:08.43	9.0	0.7	/
M83-SNR-1-10 ^a	13:37:01.076	-29:51:41.63	4.9	0.6	/
M83-SNR-1-11 ^a	13:37:01.579	-29:52:04.93	0.0	1.1	/
M83-SNR-1-15 ^a	13:37:02.443	-29:51:26.07	19.0	0.6	/
M83-SNR-1-17 ^a	13:37:04.877	-29:52:18.59	1.8	1.3	/
M83-SNR-1-20 ^a	13:37:06.986	-29:51:09.45	1.6	0.6	/
M83-SNR-1-24 ^a	13:37:07.852	-29:52:41.93	1.4	1.3	/
M83-SNR-1-26 ^a	13:37:08.324	-29:50:56.43	0.0	1.4	/
M83-SNR-1-29 ^a	13:37:08.667	-29:52:42.69	6.1	1.3	/
M83-SNR-1-31 ^a	13:37:08.696	-29:51:33.29	13.0	1.8	/
M83-SNR-1-35 ^a	13:37:09.318	-29:50:58.50	39.0	1.2	/
M83-SNR-1-38 ^a	13:37:10.381	-29:51:34.18	2.7	1.2	/
M83-SNR-1-40 ^a	13:37:10.833	-29:52:44.52	1.4	0.7	/
M83-SNR-N-03 ^a	13:37:00.214	-29:52:06.27	49.0	0.7	/
M83-SNR-N-04 ^a	13:37:00.335	-29:52:05:52	20.0	0.3	/
M83-SNR-N-08 ^a	13:37:00.545	-29:51:58.88	410.0	0.6	/
M83-SNR-N-10 ^a	13:37:00.609	-29:51:59.65	390.0	0.8	/
001 ^b	13:36:39.99	-29:51:35.2	3.9	2.8	0.51
002 ^b	13:36:40.35	-29:51:06.7	2.0	1.4	0.43
003 ^b	13:36:40.90	-29:51:17.7	7.6	1.3	0.48
004 ^b	13:36:41.50	-29:52:16.0	0.8	2.0	1.08
005 ^b	13:36:41.58	-29:49:56.4	2.2	1.8	0.60
006 ^b	13:36:42.33	-29:52:17.3	3.5	1.9	0.80
007 ^b	13:36:42.73	-29:52:34.9	4.5	1.3	0.62

Preuzeto iz: ^aDopita et al (2010); ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^b	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^b ["]	[S II]/H α ^b odnos
008	13:36:43.70	-29:50:45.9	4.4	1.9	0.66
009	13:36:43.83	-29:52:11.3	6.8	2.4	0.59
010	13:36:44.65	-29:50:34.2	19.4	3.2	0.44
011	13:36:45.31	-29:53:07.7	5.8	3.3	0.66
012	13:36:45.70	-29:52:20.9	87.1	5.6	0.41
013	13:36:45.93	-29:53:34.4	13.2	1.9	0.53
014	13:36:46.42	-29:53:42.3	8.5	2.4	0.34
015	13:36:46.93	-29:46:41.9	21.6	4.6	0.42
016	13:36:47.13	-29:55:31.7	23.4	4.3	0.40
017	13:36:47.18	-29:53:51.4	6.6	2.0	0.41
018	13:36:47.22	-29:53:36.9	6.9	2.3	0.48
019	13:36:47.30	-29:49:03.9	12.3	1.5	0.56
020	13:36:47.83	-29:51:18.2	23.7	2.9	0.45
021	13:36:47.91	-29:51:45.7	72.0	3.7	0.36
022	13:36:48.10	-29:51:33.7	14.9	2.2	0.53
023	13:36:48.31	-29:52:44.7	47.1	2.3	0.62
024	13:36:48.45	-29:51:42.3	3.7	3.0	0.79
025	13:36:48.57	-29:52:05.2	22.9	3.1	0.73
026	13:36:48.99	-29:52:54.1	1.9	1.6	0.62
027	13:36:49.12	-29:52:24.9	17.2	2.1	0.47
028	13:36:49.37	-29:53:20.1	31.8	3.2	0.42
029	13:36:49.51	-29:51:37.2	25.2	2.6	0.31
030	13:36:49.63	-29:53:05.5	17.0	4.3	0.77
031	13:36:49.64	-29:53:13.5	5.3	2.8	0.68
032	13:36:49.67	-29:50:34.7	8.4	3.0	0.39
033	13:36:49.69	-29:54:04.2	8.5	1.8	0.63
034	13:36:49.73	-29:50:57.5	18.1	3.8	0.52
035	13:36:49.82	-29:53:08.3	2.1	1.4	0.83
036	13:36:49.81	-29:52:17.0	10.9	1.6	0.35
037	13:36:50.13	-29:53:08.8	1.9	1.0	0.55
038	13:36:50.22	-29:51:24.0	2.8	1.6	0.54
039	13:36:50.29	-29:52:47.3	71.6	2.3	0.58
040	13:36:50.45	-29:51:49.3	16.4	3.2	0.61
041	13:36:50.56	-29:53:03.9	3.2	0.8	0.52
042	13:36:50.68	-29:52:41.4	92.3	2.0	0.33
043	13:36:50.76	-29:53:10.6	10.5	2.7	0.57
044	13:36:50.84	-29:50:18.9	14.5	1.5	0.30
045	13:36:50.85	-29:52:39.6	27.7	1.8	0.50
046	13:36:50.91	-29:52:03.7	5.7	1.4	0.73
047	13:36:50.93	-29:52:58.5	15.6	1.7	0.58
048	13:36:51.00	-29:52:25.6	41.5	2.7	0.43

Preuzeto iz: ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^b	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^b ["]	[S II]/H α ^b odnos
049	13:36:51.02	-29:53:01.1	7.7	1.1	0.44
050	13:36:51.25	-29:52:40.6	161.0	2.7	0.28
051	13:36:51.33	-29:50:07.1	27.0	1.4	0.33
052	13:36:51.47	-29:49:28.5	1.7	2.6	0.90
053	13:36:51.60	-29:52:50.0	9.9	1.7	0.47
054	13:36:51.70	-29:52:27.5	29.3	2.0	0.37
055	13:36:51.98	-29:54:52.1	11.2	3.0	0.55
056	13:36:52.34	-29:50:33.2	4.4	1.9	0.61
057	13:36:52.39	-29:50:43.7	6.6	2.4	0.71
058	13:36:52.38	-29:52:05.2	8.8	1.8	0.58
059	13:36:52.55	-29:49:33.1	8.1	2.4	0.36
060	13:36:52.65	-29:52:41.2	111.0	3.2	0.29
061	13:36:52.80	-29:51:28.2	23.4	2.2	0.47
062	13:36:53.00	-29:50:23.9	1.1	1.8	0.89
063	13:36:53.07	-29:52:16.1	27.1	4.8	0.56
064	13:36:53.18	-29:52:29.2	25.5	2.7	0.42
065	13:36:53.24	-29:53:25.3	12.1	1.2	0.38
066	13:36:53.30	-29:52:42.5	7.1	1.3	0.53
067	13:36:53.29	-29:52:48.1	11.5	1.2	0.60
068	13:36:53.32	-29:55:51.4	17.8	3.1	0.44
069	13:36:53.36	-29:50:38.4	3.9	1.6	0.43
070	13:36:53.51	-29:52:38.1	7.7	2.7	0.69
071	13:36:53.64	-29:52:45.9	14.6	2.0	0.66
072	13:36:53.77	-29:54:41.1	2.5	1.9	0.69
073	13:36:53.89	-29:48:48.4	142.0	2.2	0.24
074	13:36:54.15	-29:52:09.3	8.1	1.6	0.50
075	13:36:54.23	-29:50:28.0	28.1	1.5	0.54
076	13:36:54.36	-29:50:17.6	5.2	2.3	0.67
077	13:36:54.44	-29:56:00.3	23.4	2.1	0.41
078	13:36:54.47	-29:50:52.8	20.7	1.8	0.35
079	13:36:54.51	-29:50:25.8	65.9	3.4	0.57
080	13:36:54.61	-29:53:04.8	61.7	2.3	0.30
081	13:36:54.62	-29:53:01.2	37.7	2.6	0.26
082	13:36:54.78	-29:52:59.5	39.2	2.0	0.27
083	13:36:54.85	-29:53:04.7	42.2	1.8	0.33
084	13:36:54.86	-29:50:18.7	20.0	1.7	0.58
085	13:36:54.89	-29:49:54.1	11.2	2.3	0.38
086	13:36:54.95	-29:47:46.0	16.0	3.5	0.28
087	13:36:55.04	-29:52:39.5	19.0	1.6	0.62
088	13:36:55.03	-29:51:24.7	5.8	2.6	0.72
089	13:36:55.07	-29:53:04.5	25.2	1.3	0.56
090	13:36:55.14	-29:50:40.8	9.2	2.5	0.98

Preuzeto iz: ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^b	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^b ["]	[S II]/H α ^b odnos
091	13:36:55.22	-29:53:05.0	12.0	1.7	0.67
092	13:36:55.30	-29:50:37.3	14.6	2.1	0.58
093	13:36:55.35	-29:50:53.9	4.9	1.4	0.48
094	13:36:55.37	-29:49:56.7	52.5	2.8	0.32
095	13:36:55.39	-29:48:39.2	10.2	2.2	0.62
096	13:36:55.47	-29:53:03.3	18.7	1.7	0.67
097	13:36:55.48	-29:52:43.6	16.1	1.9	0.65
098	13:36:55.62	-29:53:03.5	42.0	2.1	0.59
099	13:36:55.66	-29:47:37.6	17.2	3.5	0.31
100	13:36:55.73	-29:49:25.4	19.3	3.0	0.46
101	13:36:55.80	-29:51:19.7	6.6	2.5	0.59
102	13:36:55.83	-29:53:09.1	24.8	3.1	0.48
103	13:36:55.92	-29:53:10.9	2.1	1.1	0.80
104	13:36:56.06	-29:56:05.7	4.5	2.6	0.62
105	13:36:56.10	-29:49:34.9	30.8	2.5	0.39
106	13:36:56.23	-29:52:55.2	5.8	1.2	0.54
107	13:36:56.29	-29:53:13.6	2.4	2.1	0.99
108	13:36:56.38	-29:49:31.9	115.0	3.0	0.27
109	13:36:56.80	-29:49:49.8	4.5	1.1	0.67
110	13:36:56.84	-29:49:25.3	9.8	3.2	0.48
111	13:36:56.94	-29:54:10.7	2.9	2.8	0.87
112	13:36:57.15	-29:53:34.0	7.5	2.6	0.89
113	13:36:57.86	-29:48:06.0	28.2	2.0	0.38
114	13:36:57.88	-29:48:12.2	11.2	3.2	0.41
115	13:36:57.88	-29:53:02.7	24.6	1.5	0.33
116	13:36:58.07	-29:53:45.1	12.4	1.9	0.50
117	13:36:58.55	-29:48:19.7	75.9	1.9	0.31
118	13:36:58.71	-29:51:00.5	11.0	1.3	0.42
119	13:36:59.00	-29:52:56.6	11.2	1.2	0.33
120	13:36:59.00	-29:53:01.3	26.0	1.4	0.44
121	13:36:59.11	-29:53:43.5	8.9	2.2	0.37
122	13:36:59.33	-29:55:08.9	15.3	2.1	0.50
123	13:36:59.35	-29:48:37.8	52.2	1.6	0.37
124	13:36:59.50	-29:52:03.7	11.4	1.4	1.01
125	13:36:59.50	-29:49:16.9	11.2	2.6	0.58
126	13:36:59.67	-29:50:32.9	4.7	2.4	0.60
127	13:36:59.85	-29:55:25.9	15.4	1.2	0.45
128	13:37:00.03	-29:48:33.5	7.6	2.3	0.42
129	13:37:00.04	-29:54:17.1	1.8	1.3	0.38
130	13:37:00.09	-29:48:40.3	12.3	1.4	0.40
131	13:37:00.19	-29:48:10.0	2.2	2.5	1.12
132	13:37:00.33	-29:51:20.8	7.4	1.9	0.54

Preuzeto iz: ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^b	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^b ["]	[S II]/H α ^b odnos
133	13:37:00.40	-29:53:22.9	3.0	1.5	0.79
134	13:37:00.66	-29:54:26.6	32.0	2.0	0.50
135	13:37:00.70	-29:52:21.7	83.5	2.1	0.36
136	13:37:00.75	-29:53:23.9	18.3	2.6	0.38
137	13:37:01.02	-29:50:56.3	5.6	1.4	0.59
138	13:37:01.06	-29:54:15.9	28.8	2.9	0.48
139	13:37:01.16	-29:57:10.7	8.3	2.4	0.56
140	13:37:01.52	-29:50:14.7	4.3	1.9	0.79
141	13:37:01.57	-29:49:58.8	8.8	1.5	0.59
142	13:37:01.67	-29:54:10.3	15.9	2.0	0.55
143	13:37:01.72	-29:51:13.3	37.4	2.3	0.51
144	13:37:01.72	-29:54:40.4	4.8	1.6	0.54
145	13:37:02.04	-29:52:49.5	13.5	3.4	0.56
146	13:37:02.09	-29:51:58.5	24.6	2.7	0.46
147	13:37:02.21	-29:49:52.4	13.4	1.3	0.61
148	13:37:02.32	-29:50:07.0	6.7	2.4	0.51
149	13:37:02.42	-29:54:33.0	6.0	1.7	0.49
150	13:37:02.42	-29:51:25.7	18.2	1.4	0.75
151	13:37:03.02	-29:49:45.6	36.1	1.3	0.48
152	13:37:03.46	-29:50:46.4	26.9	2.4	0.24
153	13:37:03.90	-29:49:42.9	26.6	1.7	0.38
154	13:37:04.05	-29:54:02.3	43.9	3.3	0.53
155	13:37:04.13	-29:53:16.5	5.8	3.0	0.58
156	13:37:04.41	-29:49:38.7	48.1	1.7	0.38
157	13:37:04.43	-29:53:47.6	21.7	2.2	0.47
158	13:37:04.46	-29:54:03.5	53.4	3.3	0.41
159	13:37:04.51	-29:49:35.8	48.3	1.9	0.41
160	13:37:04.72	-29:55:34.8	21.1	1.8	0.54
161	13:37:04.81	-29:53:53.6	15.5	3.7	0.47
162	13:37:04.82	-29:50:06.9	9.3	2.4	0.65
163	13:37:04.85	-29:49:42.1	9.8	2.1	0.34
164	13:37:04.97	-29:50:16.3	6.7	2.3	0.57
165	13:37:05.59	-29:54:56.3	4.7	2.0	0.57
166	13:37:05.79	-29:52:46.1	5.7	2.6	0.51
167	13:37:05.87	-29:55:04.1	15.8	2.4	0.42
168	13:37:06.01	-29:50:04.2	8.9	1.6	0.62
169	13:37:06.03	-29:55:14.3	23.1	1.4	0.48
170	13:37:06.16	-29:54:43.5	3.4	1.5	0.61
171	13:37:06.44	-29:50:24.9	32.2	2.1	0.60
172	13:37:06.44	-29:54:27.3	8.3	2.1	0.59
173	13:37:06.46	-29:50:06.1	9.2	2.4	0.54
174	13:37:06.65	-29:53:33.6	19.5	4.1	0.49

Preuzeto iz: ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^b	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^b ["]	[S II]/H α ^b odnos
175	13:37:06.82	-29:49:26.3	75.4	2.0	0.31
176	13:37:06.98	-29:54:16.6	7.5	3.7	0.58
177	13:37:07.01	-29:49:07.7	35.2	2.8	0.57
178	13:37:07.07	-29:53:20.9	17.8	1.7	0.53
179	13:37:07.10	-29:51:01.5	9.1	1.1	0.33
180	13:37:07.47	-29:51:33.3	42.2	2.4	0.59
181	13:37:07.51	-29:54:16.1	5.4	2.1	0.81
182	13:37:07.57	-29:52:18.9	6.4	1.8	0.70
183	13:37:07.69	-29:51:09.9	28.6	1.1	0.32
184	13:37:07.71	-29:53:01.2	12.4	1.4	0.44
185	13:37:07.81	-29:54:12.8	29.2	4.0	0.44
186	13:37:07.93	-29:49:20.0	12.8	2.0	0.68
187	13:37:07.99	-29:51:16.2	65.5	1.7	0.26
188	13:37:08.09	-29:52:21.1	3.9	2.5	0.90
189	13:37:08.21	-29:53:20.5	10.7	2.5	0.37
190	13:37:08.48	-29:52:02.0	78.3	2.3	0.43
191	13:37:08.57	-29:51:35.0	13.3	1.4	0.67
192	13:37:08.66	-29:51:53.5	18.0	1.8	0.52
193	13:37:08.75	-29:51:37.5	19.3	1.9	0.49
194	13:37:09.04	-29:51:33.3	6.4	1.2	0.52
195	13:37:09.22	-29:51:33.6	8.7	1.7	0.58
196	13:37:09.69	-29:53:30.3	3.0	2.7	0.74
197	13:37:10.07	-29:51:28.0	38.5	1.2	0.52
198	13:37:10.19	-29:50:18.1	6.7	2.1	0.42
199	13:37:10.33	-29:51:28.8	45.1	1.6	0.31
200	13:37:10.74	-29:49:57.2	16.0	1.9	0.34
201	13:37:10.78	-29:51:44.8	12.2	2.6	0.49
202	13:37:10.94	-29:49:52.9	28.7	1.6	0.33
203	13:37:10.96	-29:50:46.4	12.0	1.6	0.52
204	13:37:11.09	-29:53:17.2	3.2	2.7	0.70
205	13:37:11.34	-29:54:19.7	34.4	3.8	0.37
206	13:37:11.47	-29:51:41.3	12.4	1.4	0.62
207	13:37:11.48	-29:50:13.4	5.9	1.6	0.57
208	13:37:11.68	-29:51:39.4	14.3	3.8	0.38
209	13:37:11.87	-29:52:15.6	16.9	1.4	0.55
210	13:37:12.46	-29:50:20.3	38.5	1.4	0.39
211	13:37:12.81	-29:50:12.2	12.5	2.6	0.34
212	13:37:12.85	-29:54:38.9	5.4	2.7	0.54
213	13:37:13.09	-29:51:18.4	7.3	2.8	0.63
214	13:37:14.01	-29:52:54.1	21.1	2.8	0.58
215	13:37:13.97	-29:51:51.1	6.4	2.4	0.52
216	13:37:14.35	-29:50:06.4	5.3	1.9	0.56

Preuzeto iz: ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^b	RA ^b (J2000.0) h:m:s	Dec. ^b (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^b [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^b ["]	[S II]/H α ^b odnos
217	13:37:14.42	-29:50:21.3	9.0	2.5	0.46
218	13:37:14.66	-29:50:33.7	28.3	2.2	0.35
219	13:37:14.84	-29:54:58.6	19.4	1.9	0.62
220	13:37:16.03	-29:53:04.0	7.0	2.0	0.35
221	13:37:17.21	-29:51:53.4	28.7	1.4	0.48
222	13:37:17.26	-29:53:25.0	13.6	2.2	0.59
223	13:37:17.42	-29:51:54.0	31.3	1.4	0.51
224	13:37:17.49	-29:53:35.8	3.4	2.3	0.88
225	13:37:18.74	-29:53:50.6	4.2	2.4	0.65
304	13:36:44.05	-29:51:27.1	11.1	1.4	0.19
305	13:36:44.54	-29:55:03.5	17.1	3.2	0.25
306	13:36:46.56	-29:55:31.5	15.0	3.4	0.25
307	13:36:47.99	-29:53:26.6	0.2	1.0	0.09
309	13:36:49.91	-29:52:59.3	1.9	1.4	0.30
310	13:36:50.24	-29:50:36.9	9.0	1.7	0.26
311	13:36:52.27	-29:54:20.9	9.3	2.3	0.26
312	13:36:53.60	-29:56:00.9	5.0	1.7	0.31
313	13:36:55.06	-29:54:54.9	13.7	2.6	0.25
314	13:36:55.27	-29:54:02.9	0.6	1.3	0.00
316	13:36:58.04	-29:49:02.0	12.8	3.0	0.16
318	13:36:59.02	-29:54:58.7	18.9	2.8	0.28
319	13:36:59.33	-29:54:58.6	61.1	4.5	0.23
320	13:36:59.44	-29:54:34.8	11.0	2.2	0.27
321	13:37:01.27	-29:51:59.9	42.0	1.0	0.10
322	13:37:02.35	-29:54:37.5	9.9	1.8	0.13
323	13:37:02.38	-29:54:15.5	16.9	1.8	0.21
324	13:37:03.59	-29:49:40.8	9.2	1.3	0.23
326	13:37:05.47	-29:53:37.3	12.5	1.4	0.20
327	13:37:05.87	-29:49:11.4	17.0	1.7	0.31
328	13:37:06.96	-29:54:57.7	10.4	2.5	0.28
329	13:37:07.15	-29:49:13.4	15.1	2.7	0.31
330	13:37:07.46	-29:54:42.1	15.2	2.0	0.20
331	13:37:07.81	-29:48:42.8	27.8	3.5	0.22
333	13:37:08.66	-29:52:42.9	42.4	2.3	0.29
334	13:37:10.19	-29:48:59.2	21.8	2.6	0.28
336	13:37:12.08	-29:50:57.1	31.5	1.0	0.12
338	13:37:12.82	-29:54:44.7	4.5	2.4	0.37
339	13:37:14.30	-29:50:00.8	6.8	1.9	0.14
340	13:37:14.57	-29:50:09.4	27.3	2.1	0.16
341	13:37:15.19	-29:50:40.0	26.3	2.2	0.20
343	13:37:16.66	-29:50:59.8	29.0	2.8	0.22
344	13:37:17.80	-29:51:55.6	43.4	4.0	0.24

Preuzeto iz: ^bBlair et al. (2013).

Tabela 7.19: nastavak

Ime objekta ^c	RA ^c (J2000.0) h:m:s	Dec. ^c (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^c [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^c [$''$]	[S II]/H α ^c odnos
7	13:36:51.19	-29:50:42.32	2.2	0.3	0.28
9	13:36:51.52	-29:53:00.89	13.0	0.6	0.17
13	13:36:53.73	-29:48:51.26	21.0	1.5	0.21
19	13:36:58.64	-29:51:06.49	0.5	0.2	0.28
23	13:36:59.32	-29:48:36.51	1.5	0.6	0.27
24	13:36:59.44	-29:48:36.99	2.3	0.6	0.35
25	13:36:59.79	-29:48:37.87	5.1	0.6	0.18
31	13:37:00.42	-29:52:22.55	0.2	0.8	1.10
32	13:37:00.55	-29:52:06.55	2.0	0.3	0.38
33	13:37:00.81	-29:54:26.81	4.8	0.5	0.16
34	13:37:00.88	-29:52:08.45	0.9	0.2	0.24
37	13:37:02.00	-29:51:51.42	0.9	0.7	0.29
42	13:37:02.89	-29:48:39.10	15.0	1.3	0.24
44	13:37:03.14	-29:54:16.92	8.2	1.0	0.23
45	13:37:03.40	-29:54:02.48	85.0	1.1	0.11
48	13:37:05.44	-29:49:18.79	5.9	0.4	0.06
49	13:37:05.88	-29:50:45.46	4.5	0.6	0.22
50	13:37:06.23	-29:55:05.08	2.0	0.3	0.20
55	13:37:08.39	-29:52:47.67	6.8	0.3	0.24
56	13:37:08.41	-29:52:10.42	5.7	1.0	0.20
60	13:37:13.07	-29:51:38.46	20.0	1.0	0.30
61	13:37:13.33	-29:51:35.98	6.7	1.6	0.31

Preuzeto iz: ^cBlair et al. (2014);

Tabela 7.20: Optički OSN u NGC 4395 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LZB1	12:25:44.9	33:30:36.3	14.0 \pm 0.2	3.4	0.25 \pm 0.02
LBZ2	12:25:46.1	33:30:47.2	4.3 \pm 0.1	2.2	0.27 \pm 0.04
LBZ3	12:25:47.2	33:32:45.3	5.5 \pm 0.1	1.7	0.26 \pm 0.04
LBZ4	12:25:53.4	33:31:03.9	14.0 \pm 0.2	2.8	0.24 \pm 0.02
LBZ5	12:25:54.1	33:30:57.6	17.0 \pm 0.3	3.4	0.25 \pm 0.02
LBZ6	12:25:54.3	33:30:50.0	1.5 \pm 0.2	2.2	0.88 \pm 0.43
LBZ7	12:25:31.9	33:33:49.6	2.4 \pm 0.1	2.2	0.37 \pm 0.05
LBZ8	12:25:37.9	33:30:34.3	5.3 \pm 0.1	2.8	0.39 \pm 0.03
LBZ9	12:25:44.6	33:35:08.4	4.4 \pm 0.2	2.2	0.36 \pm 0.06
LBZ10	12:25:50.7	33:30:09.0	3.1 \pm 0.1	2.2	0.36 \pm 0.05
LBZ11	12:25:52.5	33:30:25.9	3.9 \pm 0.2	2.2	0.53 \pm 0.08
LBZ12	12:25:53.4	33:31:05.9	7.5 \pm 0.2	2.8	0.40 \pm 0.04
LBZ13	12:25:54.5	33:31:03.4	2.7 \pm 0.2	2.2	0.64 \pm 0.14
LBZ14	12:25:54.6	33:31:14.6	5.8 \pm 0.2	2.2	0.41 \pm 0.05
LBZ15	12:25:54.9	33:31:12.3	5.3 \pm 0.2	2.2	0.35 \pm 0.05
LBZ16	12:25:56.6	33:31:31.7	4.1 \pm 0.2	2.2	0.68 \pm 0.11
LBZ17	12:25:57.2	33:36:22.5	2.6 \pm 0.1	2.2	0.34 \pm 0.06
LBZ18	12:25:57.7	33:31:54.7	6.2 \pm 0.2	2.2	0.36 \pm 0.04
LBZ19	12:25:59.9	33:31:32.6	5.5 \pm 0.2	2.2	0.37 \pm 0.05
LBZ20	12:26:01.1	33:29:04.3	2.0 \pm 0.1	2.2	0.35 \pm 0.06
LBZ21	12:25:31.3	33:35:24.8	3.1 \pm 0.1	2.2	0.26 \pm 0.04
LBZ22	12:25:34.7	33:33:02.9	3.1 \pm 0.1	2.2	0.30 \pm 0.05
LBZ23	12:25:42.1	33:31:22.2	3.9 \pm 0.1	2.2	0.32 \pm 0.04
LBZ24	12:25:42.7	33:30:47.9	7.9 \pm 0.2	2.2	0.27 \pm 0.03
LBZ25	12:25:42.7	33:31:03.5	5.3 \pm 0.2	2.2	0.34 \pm 0.04
LBZ26	12:25:43.5	33:33:30.2	16.0 \pm 0.2	2.2	0.29 \pm 0.02
LBZ27	12:25:44.3	33:32:56.2	9.1 \pm 0.2	2.2	0.27 \pm 0.03
LBZ28	12:25:45.7	33:30:51.6	5.3 \pm 0.1	2.2	0.29 \pm 0.03
LBZ29	12:25:49.1	33:32:36.8	8.9 \pm 0.2	2.2	0.26 \pm 0.04
LBZ30	12:25:49.5	33:30:08.4	3.1 \pm 0.1	2.2	0.34 \pm 0.05
LBZ31	12:25:50.5	33:30:16.9	5.1 \pm 0.1	2.2	0.30 \pm 0.03
LBZ32	12:25:50.9	33:29:29.7	4.1 \pm 0.1	2.2	0.34 \pm 0.04
LBZ33	12:25:51.9	33:30:32.8	4.3 \pm 0.1	2.2	0.26 \pm 0.04
LBZ34	12:25:53.6	33:35:09.9	3.4 \pm 0.1	2.2	0.26 \pm 0.04
LBZ35	12:25:53.7	33:30:57.4	5.8 \pm 0.2	2.2	0.32 \pm 0.05
LBZ36	12:25:53.9	33:30:49.5	3.6 \pm 0.2	2.2	0.29 \pm 0.09
LBZ37	12:25:55.7	33:31:30.5	8.7 \pm 0.2	2.2	0.30 \pm 0.03
LBZ38	12:25:56.3	33:30:10.2	4.9 \pm 0.1	2.2	0.28 \pm 0.03
LBZ39	12:25:56.7	33:35:18.9	6.0 \pm 0.1	2.8	0.31 \pm 0.03
LBZ40	12:25:59.2	33:36:40.4	2.9 \pm 0.1	2.2	0.28 \pm 0.05

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.20: nastavak*

Ime objekta ^c	RA ^c (J2000.0) h:m:s	Dec. ^c (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^c [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^c ["]	[S II]/H α ^c odnos
LBZ41	12:25:59.6	33:31:04.3	7.5 \pm 0.2	2.2	0.27 \pm 0.03
LBZ42	12:25:59.7	33:31:21.4	6.2 \pm 0.2	2.2	0.26 \pm 0.04
LBZ43	12:26:00.7	33:28:40.1	3.4 \pm 0.1	2.2	0.31 \pm 0.05
LBZ44	12:26:02.2	33:31:21.3	5.1 \pm 0.2	2.2	0.27 \pm 0.04
LBZ45	12:26:07.5	33:32:03.0	3.2 \pm 0.1	2.2	0.27 \pm 0.04
LBZ46	12:26:08.2	33:35:26.4	2.7 \pm 0.1	2.2	0.29 \pm 0.05
LBZ47	12:26:08.8	33:32:46.2	6.0 \pm 0.2	2.2	0.29 \pm 0.05

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.21: Optički OSN u NGC 5204* galaksiji.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
LBZ1	13:29:32.9	58:24:53.3	5.1 \pm 0.3	2.8	0.26 \pm 0.08
LBZ2	13:29:33.2	58:24:48.4	4.6 \pm 0.4	2.8	0.29 \pm 0.10
LBZ3	13:29:33.7	58:25:09.4	20.5 \pm 0.6	3.9	0.15 \pm 0.03
LBZ4	13:29:34.5	58:24:23.8	10.5 \pm 0.3	2.8	0.28 \pm 0.04
LBZ5	13:29:38.8	58:25:34.8	10.9 \pm 0.4	2.8	0.25 \pm 0.04
LBZ6	13:29:39.0	58:26:12.0	19.5 \pm 0.2	2.8	0.23 \pm 0.01
LBZ7	13:29:40.0	58:24:57.3	8.2 \pm 0.4	2.8	0.20 \pm 0.04
LBZ8	13:29:28.6	58:25:16.9	2.4 \pm 0.2	2.2	0.37 \pm 0.08
LBZ9	13:29:30.3	58:25:20.6	5.2 \pm 0.2	2.8	0.34 \pm 0.06
LBZ10	13:29:31.0	58:25:33.5	4.5 \pm 0.2	2.8	0.38 \pm 0.08
LBZ11	13:29:32.3	58:23:37.0	2.3 \pm 0.2	2.8	0.48 \pm 0.12
LBZ12	13:29:32.4	58:25:16.2	6.8 \pm 0.3	2.8	0.38 \pm 0.06
LBZ13-1	13:29:36.7	58:26:25.6	7.3 \pm 0.3	2.8	0.37 \pm 0.05
LBZ14-2	13:29:36.7	58:26:23.4	7.1 \pm 0.3	2.8	0.40 \pm 0.05
LBZ15-3	13:29:36.8	58:26:20.5	4.4 \pm 0.3	2.8	0.35 \pm 0.08
LBZ16	13:29:36.9	58:24:26.9	2.0 \pm 0.3	2.2	0.91 \pm 0.42
LBZ17	13:29:37.2	58:23:41.8	5.4 \pm 0.2	2.8	0.44 \pm 0.07
LBZ18	13:29:37.7	58:26:04.5	5.2 \pm 0.3	2.8	0.37 \pm 0.08
LBZ19	13:29:38.3	58:26:01.6	13.3 \pm 0.4	3.9	0.37 \pm 0.04
LBZ20	13:29:28.2	58:25:14.6	5.2 \pm 0.2	2.8	0.29 \pm 0.04
LBZ21	13:29:30.7	58:24:48.2	5.4 \pm 0.2	2.8	0.27 \pm 0.05
LBZ22	13:29:30.8	58:23:38.5	2.3 \pm 0.2	2.8	0.38 \pm 0.10
LBZ23	13:29:30.8	58:25:49.1	5.0 \pm 0.2	2.8	0.33 \pm 0.05
LBZ24	13:29:31.5	58:23:18.2	3.3 \pm 0.1	2.8	0.27 \pm 0.05
LBZ25	13:29:31.9	58:24:12.1	7.7 \pm 0.3	2.8	0.29 \pm 0.04
LBZ26	13:29:36.4	58:26:27.5	7.1 \pm 0.2	2.8	0.33 \pm 0.04
LBZ27	13:29:36.6	58:23:31.0	5.0 \pm 0.2	2.8	0.32 \pm 0.05
LBZ28	13:29:37.1	58:26:24.0	5.9 \pm 0.3	2.8	0.33 \pm 0.06
LBZ29	13:29:38.5	58:26:30.2	4.7 \pm 0.2	2.8	0.30 \pm 0.05
LBZ30	13:29:39.1	58:26:20.2	6.8 \pm 0.2	2.8	0.31 \pm 0.04
LBZ31	13:29:40.3	58:24:03.1	5.6 \pm 0.2	2.8	0.29 \pm 0.04
LBZ32	13:29:41.2	58:25:08.9	8.3 \pm 0.3	2.8	0.27 \pm 0.04
LBZ33	13:29:41.4	58:25:06.0	7.8 \pm 0.3	2.8	0.31 \pm 0.04
LBZ34-1	13:29:47.7	58:23:56.6	2.3 \pm 0.1	2.8	0.25 \pm 0.06
LBZ35-2	13:29:48.2	58:23:53.8	2.1 \pm 0.1	2.8	0.30 \pm 0.08
LBZ36-3	13:29:48.3	58:23:55.1	2.0 \pm 0.2	2.8	0.29 \pm 0.09

*Podaci su preuzeti iz Leonidaki et al. (2013).

Tabela 7.22: Optički OSN u NGC 5585 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
1	14:19:39.2	56:41:38.7	16.0	3.9	0.66
2	14:19:49.2	56:44:58.4	1.5	0.9	0.68
3	14:19:51.6	56:44:21.0	4.3	0.6	0.64
4	14:19:51.8	56:44:08.6	31.0	1.8	0.47
5	14:19:55.4	56:45:08.0	15.0	/	0.49

*Podaci su preuzeti iz Matonick & Fesen (1997).

Tabela 7.23: Optički OSN u NGC 6946 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
1	20:34:23.3	60:08:18.6	6.7	1.1	0.52
2	20:34:26.0	60:11:10.6	4.7	1.1	0.46
3	20:34:33.6	60:09:52.4	0.8	1.5	0.91
4	20:34:33.8	60:09:25.2	3.3	/	0.85
5	20:34:37.6	60:08:52.7	2.0	6.8	0.76
6	20:34:37.8	60:11:54.5	0.5	0.8	1.14
7	20:34:37.9	60:07:22.5	1.4	1.5	0.97
8	20:34:43.9	60:08:24.6	4.4	1.9	0.49
9	20:34:51.4	60:07:39.2	2.2	0.8	0.67
10	20:34:51.5	60:09:09.1	3.7	0.8	0.77
11	20:34:52.5	60:07:28.3	2.9	/	0.46
12	20:34:54.2	60:11:03.5	1.5	/	0.64
13	20:34:55.9	60:07:49.2	3.2	0.3	0.58
14	20:34:57.8	60:08:10.0	2.5	0.8	0.68
15	20:35:00.3	60:11:46.2	7.9	1.1	0.58
16	20:35:00.6	60:11:30.8	71.0	0.8	0.85
17	20:35:01.1	60:12:00.3	1.0	0.8	0.77
18	20:35:02.3	60:06:31.2	6.7	1.5	0.52
19	20:35:02.9	60:05:26.7	14.0	6.0	0.71
20	20:35:05.5	60:10:01.0	3.8	/	0.68
21	20:35:08.8	60:06:03.0	8.1	6.8	0.94
22	20:35:09.6	60:12:30.2	2.9	/	0.77
23	20:35:11.6	60:07:41.2	7.3	1.1	0.45
24	20:35:16.9	60:11:05.8	2.1	1.9	0.79
25	20:35:21.1	60:08:44.4	21.0	2.3	0.58
26	20:35:25.5	60:07:51.2	2.1	1.1	0.59
27	20:35:26.0	60:08:43.0	11.0	1.5	0.51

*Podaci su preuzeti iz Matonick & Fesen (1997).

Tabela 7.24: Optički OSN u M101 galaksiji.

Ime objekta*	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ["]	[S II]/H α odnos
2 ^a	14:02:24.6	54:17:58.5	0.9	/	0.63
3 ^a	14:02:25.0	54:17:46.0	1.3	1.5	0.72
4 ^a	14:02:25.7	54:18:35.7	3.8	/	0.58
5 ^a	14:02:27.1	54:16:54.4	2.2	/	0.60
6 ^a	14:02:32.2	54:15:57.2	2.7	1.1	0.59
8 ^b	14:02:36.42	54:23:57.16	1.0	2.1	0.83
9 ^b	14:02:38.41	54:22:25.20	1.0	0.7	0.67
10 ^a	14:02:41.2	54:16:08.8	13.0	11.3	0.78
11 ^b	14:02:41.86	54:22:36.78	1.1	1.0	0.81
12 ^b	14:02:43.86	54:20:05.70	16.0	1.0	0.54
13 ^b	14:02:44.18	54:20:34.66	1.4	0.9	0.69
14 ^a	14:02:45.5	54:13:26.7	3.7	2.7	0.59
15 ^b	14:02:45.77	54:25:19.92	0.6	1.1	0.51
16 ^b	14:02:46.07	54:24:40.83	0.9	1.8	0.46
17 ^b	14:02:49.11	54:20:56.22	2.1	1.6	0.90
18 ^a	14:02:49.5	54:14:35.7	3.0	2.3	0.62
20 ^a	14:02:49.9	54:18:55.7	6.3	0.8	0.59
21 ^a	14:02:51.2	54:17:46.0	19.0	1.1	0.88
22 ^a	14:02:51.4	54:17:49.5	5.1	1.9	0.68
23 ^b	14:02:51.56	54:29:08.17	2.2	1.9	0.55
24 ^a	14:02:51.8	54:19:32.4	7.2	1.1	1.06
25 ^b	14:02:53.56	54:14:24.33	3.7	1.6	0.70
26 ^b	14:02:54.43	54:23:24.75	0.6	0.7	0.56
27 ^b	14:02:55.25	54:24:17.25	0.3	1.0	1.14
28 ^b	14:02:56.06	54:14:57.30	3.1	2.5	0.74
29 ^a	14:02:58.2	54:18:33.7	0.9	0.8	0.67
30 ^b	14:02:59.12	54:19:50.10	1.5	1.2	0.77
31 ^a	14:02:59.1	54:17:02.5	15.0	/	0.59
32 ^b	14:02:59.49	54:22:45.20	2.2	1.0	0.74
33 ^b	14:03:00.49	54:20:02.36	2.7	0.8	0.70
34 ^b	14:03:02.09	54:23:24.54	2.8	1.6	0.61
35 ^a	14:03:03.5	54:14:29.3	3.2	1.9	0.57
36 ^a	14:03:03.9	54:14:03.5	3.4	4.9	0.70
37 ^a	14:03:04.1	54:27:36.0	6.9	/	0.72
38 ^a	14:03:06.5	54:28:17.1	3.3	3.1	0.71
39 ^a	14:03:09.0	54:16:25.2	3.3	1.1	0.55
40 ^b	14:03:09.36	54:18:31.84	2.5	1.0	0.68
41 ^b	14:03:10.56	54:23:27.11	1.3	0.8	0.45
42 ^b	14:03:11.05	54:22:03.49	0.5	1.2	0.64

*Napomena: Imena objekata su iz Matonick & Fesen (1997).

Preuzeto iz: ^aMatonick & Fesen (1997); ^bFranchetti et al. (2012).

Tabela 7.24: nastavak

Ime objekta ^c	RA ^c (J2000.0) h:m:s	Dec. ^c (J2000.0) d:m:s	F(H α) ^c [erg cm ⁻² s ⁻¹] $\times 10^{-15}$	Dijametar ^c ["]	[S II]/H α ^c odnos
43 ^b	14:03:12.22	54:18:52.23	2.4	1.7	0.78
44 ^b	14:03:12.45	54:23:27.28	5.8	1.1	0.53
46 ^b	14:03:12.72	54:19:00.78	1.4	1.5	0.48
49 ^b	14:03:13.29	54:21:56.74	0.1	0.5	0.52
50 ^b	14:03:14.62	54:21:51.58	1.0	0.5	0.81
52 ^b	14:03:18.02	54:17:54.08	0.4	0.7	0.64
54 ^b	14:03:20.80	54:19:42.23	5.9	1.2	0.52
55 ^a	14:03:23.1	54:22:47.7	1.1	1.1	0.70
56 ^a	14:03:24.0	54:21:44.2	1.9	1.1	0.51
57 ^b	14:03:24.31	54:19:39.62	0.8	0.8	0.47
59 ^b	14:03:24.84	54:17:21.37	1.1	1.7	0.69
60 ^b	14:03:25.42	54:18:22.64	2.1	1.0	0.65
61 ^a	14:03:25.7	54:21:24.7	4.6	1.1	0.48
62 ^b	14:03:26.38	54:24:33.22	7.3	2.2	0.50
63 ^a	14:03:26.7	54:23:41.5	6.5	/	0.46
64 ^a	14:03:26.8	54:20:44.5	1.9	/	0.69
65 ^b	14:03:27.32	54:18:31.36	4.2	0.8	0.57
66 ^a	14:03:27.6	54:17:08.6	3.9	1.1	0.57
68 ^a	14:03:28.2	54:23:04.8	2.8	0.8	0.46
70 ^a	14:03:28.6	54:17:01.3	12.0	4.2	0.54
71 ^a	14:03:28.7	54:23:17.7	20.0	1.1	0.76
72 ^a	14:03:30.3	54:23:39.5	9.1	1.1	0.50
74 ^a	14:03:30.8	54:21:06.6	5.2	1.1	0.48
76 ^b	14:03:32.79	54:17:40.61	2.0	1.8	0.62
77 ^a	14:03:33.8	54:20:16.2	1.9	1.5	0.58
79 ^a	14:03:34.4	54:22:17.3	4.7	1.5	0.45
80 ^a	14:03:34.5	54:21:57.0	3.5	4.6	0.45
81 ^b	14:03:35.63	54:18:12.51	0.8	0.9	0.60
84 ^a	14:03:36.0	54:31:42.0	15.0	5.0	0.51

*Napomena: Imena objekata su iz Matonick & Fesen (1997).

Preuzeto iz: ^aMatonick & Fesen (1997); ^bFranchetti et al. (2012).

Tabela 7.24: nastavak

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar [$''$]	[S II]/H α odnos
86 ^a	14:03:41.0	54:32:12.0	2.5	/	0.73
87 ^a	14:03:42.2	54:29:54.0	47.0	7.3	0.48
88 ^b	14:03:51.78	54:21:03.51	3.3	3.5	0.69
92 ^a	14:03:59.7	54:24:35.0	7.6	4.6	0.52
93 ^a	14:04:02.9	54:24:48.0	5.2	3.4	0.59

*Napomena: Imena objekata su iz Matonick & Fesen (1997).

Preuzeto iz: ^aMatonick & Fesen (1997); ^bFranchetti et al. (2012).

Tabela 7.25: Optički OSN u M74 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar [$''$]	[S II]/H α odnos
SNR1	01:36:43.8	+15:49:12.7	15.0	/	0.47
SNR2	01:36:31.5	+15:48:50.3	6.0	/	0.46
SNR3	01:36:46.9	+15:45:15.2	2.9	/	0.91
SNR4	01:36:45.3	+15:43:06.6	14.0	/	0.49
SNR5	01:36:48.9	+15:43:34.4	2.8	/	0.58
SNR6	01:36:45.1	+15:45:25.3	15.0	/	0.47
SNR7	01:36:45.9	+15:44:46.1	16.0	/	0.45
SNR8	01:36:45.9	+15:44:27.1	16.0	/	0.46
SNR9	01:36:42.4	+15:44:16.3	17.0	/	0.40

*Podaci su preuzeti iz Sonbas et al. (2010).

Tabela 7.26: Optički OSN u NGC 2903 galaksiji*.

Ime objekta	RA (J2000.0) h:m:s	Dec. (J2000.0) d:m:s	F(H α) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$] $\times 10^{-15}$	Dijametar [$''$]	[S II]/H α odnos
SNR1	09:32:12.5	+21:32:30	9.4	/	0.41
SNR2	09:32:13.7	+21:30:48	17.0	/	0.74
SNR3	09:32:10.7	+21:29:19	16.0	/	0.57
SNR4	09:32:12.5	+21:29:06	5.4	/	0.42
SNR5	09:32:11.1	+21:28:23	11.0	/	0.53

*Podaci su preuzeti iz Sonbas et al. (2009).

Biografija autora

Milica Vučetić (rođ. Anđelić) je rođena 19. 9. 1985. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju završila je u Valjevu. Školske 2004/05. godine upisala je osnovne studije na Matematičkom fakultetu na Univerzitetu u Beogradu, smer Astrofizika. Diplomirala je sa prosečnom ocenom 9.64 i u decembru 2009. godine je na istom fakultetu upisala doktorske studije. Prve godine studija bila je stipendista-doktorant Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, na projektu Astronomske opservatorije „Gasovita i zvezdana komponenta galaksija: interakcija i evolucija”. Od 2011. godine je zaposlena na Matematičkom fakultetu u Beogradu, kao istraživač-pripravnik na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja „Emisione magline: struktura i evolucija”, pod rukovodstvom prof. dr Dejana Uroševića. U zvanje istraživač-saradnik izabrana je u junu 2012. godine.

Naučno-istraživački rad Milice Vučetić se odvija u oblasti detekcije emisionih maglina u optičkom području, određivanju uticaja optičkih ostataka supernovih na stopu formiranja zvezda, kao i proučavanju evolucije ostataka supernovih. Autor, odnosno koautor je 8 radova objavljenih u naučnim časopisima sa recenzijom i 6 radova predstavljenih na naučnim konferencijama u zemlji i inostranstvu.

Udata je i ima dvoje dece.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Милица Вучетић

број уписа 2020/2009

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Оптичка детекција остатака супернових и утицај њихове емисије у линији H α на
одређивање стопе формирања звезда

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 12.3.2017.

М. Вучетић

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милица Вучетић

Број уписа 2020/2009

Студијски програм Астрономија и астрофизика

Наслов рада Оптичка детекција остатака супернових и утицај њихове емисије у линији $H\alpha$ на одређивање стопе формирања звезда

Ментор др Бојан Арбутина

Потписани Милица Вучетић

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 12.3.2017.

М. Вучетић

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Оптичка детекција остатака супернових и утицај њихове емисије у линији H α на одређивање стопе формирања звезда

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____ 12.3.2017. _____

M. Bujewski

1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.