

Univerzitet u Beogradu  
Matematički fakultet

Master rad

Analiza optičkih spektara ekstremno  
promenljivih aktivnih galaksija

Student:

Aleksandra Janješ

Mentor:

prof. dr Dragana Ilić

U Beogradu, 2020.

# Sadržaj

<b>0</b>	<b>Sažetak</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>3</b>
1.1	Opšte osobine aktivnih galaktičkih jezgara . . . . .	5
1.2	Ekstremno promenljiva AGJ . . . . .	10
1.3	Ekstremno promenljivi objekti u ovom istraživanju . . . . .	12
1.3.1	Mrk 590 . . . . .	12
1.3.2	Mrk 926 . . . . .	14
1.3.3	Mrk 1018 . . . . .	15
1.3.4	NGC 5252 . . . . .	16
1.4	Cilj i struktura rada . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Spektri i obrada spektara</b>	<b>19</b>
2.1	Nova posmatranja sa Vilijam Heršel teleskopom . . . . .	19
2.1.1	Informacije o teleskopu i spektrografu . . . . .	19
2.1.2	Posmatrački podaci . . . . .	19
2.1.3	Obrada spektara . . . . .	22
2.1.4	Problemi u obradi sirovih spektara i rešenja . . . . .	24
2.2	Arhivski spektri . . . . .	29
2.2.1	Spektri sa SDSS . . . . .	29
2.2.2	Spektri sa VLT . . . . .	31
2.2.3	Spektri sa HST . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Analiza spektara i rezultati</b>	<b>35</b>
3.1	Oduzimanje zračenja galaksije domaćina . . . . .	35
3.2	Fitovanje i modelovanje spektara . . . . .	42
3.3	Merenje parametara spektralnih linija . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Diskusija</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>Zaključak</b>	<b>59</b>

Pre svega želim da se zahvalim mentorki dr Dragani Ilić na strpljenju i istrajanju da završim master rad, kao i studentu doktorantu Nemanji Rakiću koji je nesebično pomogao u izradi ovog rada. Zahvaljujem se članovima komisije dr Olgi Atanacković i dr Anđelki Kovačević na sugestijama koje su dale kako bi se poboljšao kvalitet rada.

Želim da se zahvalim naučniku Danielu Asmusu za ekskluzivne nove podatke sa Vilijam Heršel teleskopa koje sam koristila pri izradi ovog rada. Takođe, želim da se zahvalim svima koji su zaslužni za izradu astronomskih baza sa kojih su podaci slobodno preuzeti. Zahvalnost na dostupnosti podataka: SDSS, <http://www.sdss.org/>, ESO, <http://archive.eso.org/cms.html> i MAST <https://archive.stsci.edu/hst/>.

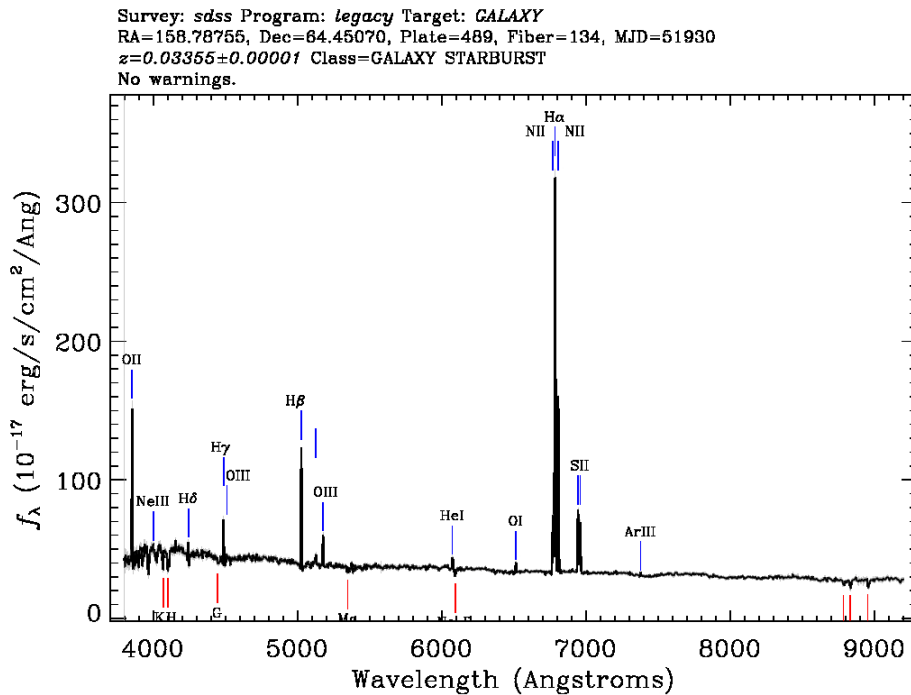
Veliku zahvalnost dugujem i roditeljima koji su toliko čekali da napišem rad.

## 0 Sažetak

Aktivna galaktička jezgra (AGJ) su najsjajniji objekti u svemiru koji emituju snažno u kontinuumu i u linijama na svim talasnim dužinama. AGJ su centri masivnih galaksija u kojima postoji akrecija gasa na supermasivnu crnu rupu koja se tu nalazi. Proučavanje AGJ daje značajan doprinos razumevanju fizičkih procesa koji se dešavaju u blizini supermasivnih crnih rupa i uslovima ekstremne gravitacije, ali i razumevanju nastanka i evolucije galaksija, budući da svaka galaksija u svom životu prolazi kroz aktivnu fazu. Predmet ovog rada su objekti koji pokazuju specifične karakteristike i promene u optičkim spektrima tako da su svrstani u malu grupu ekstremno promenljivih aktivnih galaksija. Osnovni cilj ovog rada je obrada novih sirovih spektara i osnovna analiza emisionih linija ekstremno promenljivih AGJ: Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252. Dodatni cilj je poređenje analiziranih spektara sa arhivskim spektrima ovih objekata, kako bi se uočila eventualna nova ekstremna promena tipa. Dat je opis obrade novih spektara snimljenih 2019. i 2020. sa Vili- jam Heršel teleskopom (WHT) koji su analizirani zajedno sa arhivskim spektrima. Spektri sa WHT teleskopa su novi i do sada nisu bili objavljeni. Specifičnost ovih AGJ u odnosu na druge je u tome što je primećeno da u spektrima karakteristične emisione linije mogu da nestanu i da se ponovo posle određenog vremena pojave. U ovom radu pokazana je promena oblika, širine i izračunate vrednosti FWHM (Full Width at Half Maximum -FWHM) širokih komponenti za  $H\alpha$  i  $H\beta$  linije. Nije u potpunosti jasno šta prouzrokuje ovaj fenomen, ali moguće je da dolazi do promene strukture akrecionog diska, pomračenja emisionog regiona koji emituje široke linije nekom neprozračnom materijom, eksplozije supernove, plimskih pojava usled gravitacionog dejstva crne rupe i drugih pojava.

# 1 Uvod

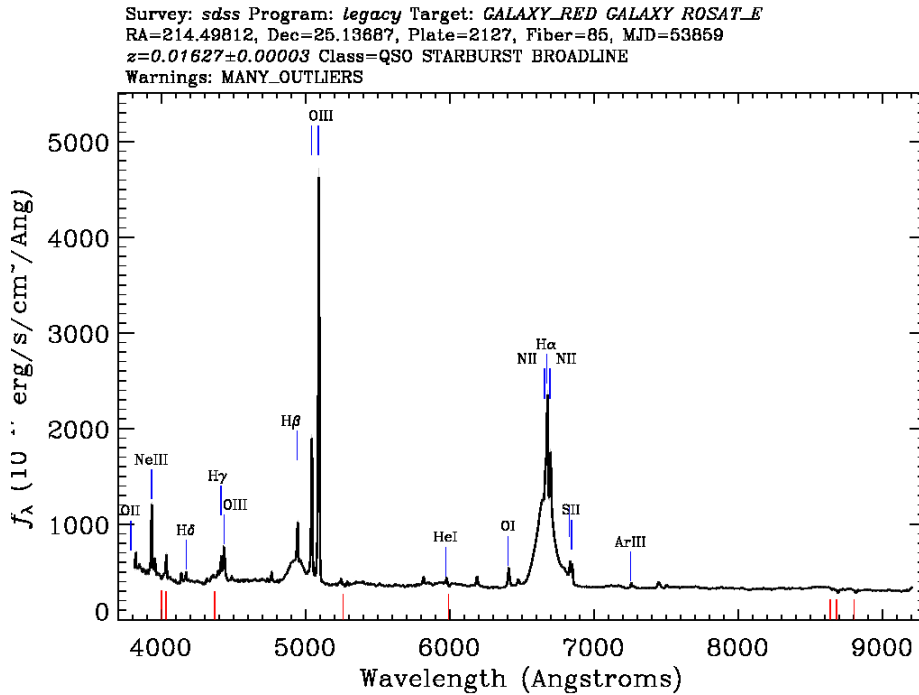
Današnja astronomska posmatranja koja se više beleže signale koji su do nas stigli sad i pružaju nam sliku kako su ti objekti izgledali u prethodnim erama. Dok proučavamo drevnu svetlost koja stiže iz dalekih krajeva svemira, mi smo u mogućnosti da istražimo kako su galaksije izgledale i ponašale se u mladosti. Analizom današnjih modernih posmatranja otkrivamo veoma interesantne strukture i aktivnosti kako u bliskim tako i u dalekim objektima. Proučavanje aktivnih galaksija ima veliki značaj za izučavanje ranog univerzuma. Aktivne glaksije predstavljaju jednu podgrupu galaksija koje u nekom od domena zračenja ili u celom spektru pokazuju mnogo intenzivnije zračenje nego što bi se očekivalo od ukupnog zračenja zvezda unutar galaksije. One čine oko 10% svih poznatih galaksija. Mogu se podeliti na "starburst" (prevod sa eng: zvezdana eksplozija) galaksije i aktivna galaktička jezgra (AGJ).



Slika 1: Prikaz spektra starburst galaksije. Slika objekta Mrk 145 preuzeta iz SDSS baze, katalog DR 9, <http://cas.sdss.org/dr9/en/tools/explore/obj.asp?ra=158.787556dec=64.450698>.

"Starburst" galaksije su galaksije kod kojih iznenada dolazi do naglog rađanja velikog broja zvezda i to stopom koja je mnogo veća od one koju bismo očekivali od neke normalne galaksije. Područja velike aktivnosti mogu se širiti po celoj galaksiji, ali većina zvezdanih eksplozija primećena je u malom regionu oko jezgra galaksije. Iako je mehanizam još uvek slabo razumljiv, smatra se da je formiranje zvezda pokrenuto plimskim interakcijama između galaksija koje prolaze blizu jedna drugoj, spajanjem galaksija ili usled prisustva galaktičke prečke, što sve rezultira





Slika 3: Prikaz spektra aktivnog galaktičkog jezgra. Slika objekta NGC 5548 preuzeta iz SDSS baze, katalog DR 9  
<http://cas.sdss.org/dr9/en/tools/explore/obj.asp?plate=2127mjd=53859fiber=85>

do tada smatrani za zvezde, a posle radio-posmatranja pokazali druge karakteristike nazivaju se kvazari (eng. quasi stellar radio objects). Početak proučavanja galaksija sa aktivnim jezgrom (AGJ) je 1963. godina. Termin AGJ uveo Danijel Vidman 1974. godine (Khachikian and Weedman, 1974).

## 1.1 Opšte osobine aktivnih galaktičkih jezgara

Centralni delovi AGJ su izuzetno svetli sa središnjim sjajem približno jednakim ostatka galaksije. Na prvi pogled, ovo možda deluje logično, s obzirom da se očekuje veće koncentracije zvezdanih sistema prema centru galaksije. Međutim, ovi ultra-sjajni centralni regioni pokazuju nekoliko specifičnosti.

(i) Luminoznost centralnog regiona može biti izuzetno velika u rasponu od  $10^{12-15}L_{\odot}$  ili više od 10000 puta veća luminoznost od čitave galaksije  $L_G$ .

(ii) Centralni izvor je velike koncentracije koji zauzima manje od parseka, na prostornoj skali ne većoj od našeg Sunčevog sistema, dok sama galaksija može imati dimenzije od nekoliko desetina kpc.

(iii) Raspodela emitovane spektralne energije galaktičkog jezgra je netermalna, prilično različita od one sa zvezda.

(iv) Raspodela energije po svim talasnim dužinama ne opada eksponencijalno sa povećanjem energije, kao što se očekuje Plankova funkcija za zvezdane energije. Može biti konstantna ili se smanjivati polako kao stepeni zakon energije,  $L(E) \sim E^{-\Gamma}$  ( $\Gamma \sim 1$ ), čak i do velikih energija sa jakom rendgenskom emisijom.

(v) Oko desetina AGJ su intenzivni radio izvori, što implicira netermalno poreklo zračenja.

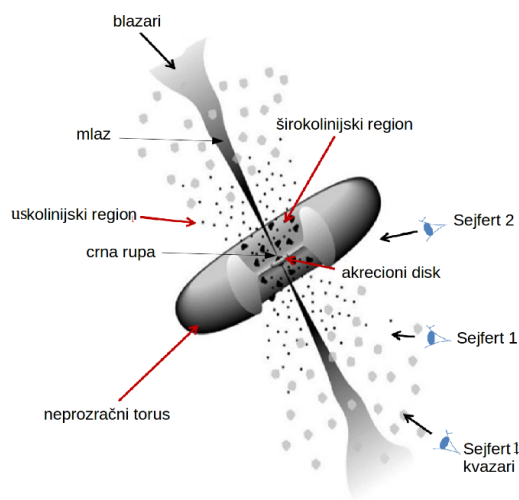
(vi) Značajne promene posmatranog fluksa, ukazuju da izvor napajanja mora biti kompaktan. Normalne galaksije ne pokazuju takvu promenu u merljivo kratkim vremenskim intervalima.

Aktivnost AGJ podstaknuta je supermasivnom crnom rupom (SMCR). Smatra se da ovi centralni „motori“ pokreću energiju koju možemo da posmatramo i da vidimo različite strukture. Morfologija AGJ obuhvata niz naizgled različitih područja, kao što je šematski prikazano na slici 4. Središnja SMCR okružena je akrecionim diskom (eng. accretion disk) formiranim od padajuće materije. Očuvanje ugaonog momenta zahteva formiranje akrecionog diska. Akrecioni disk pretvara gravitacionu energiju padajuće materije u mehaničku energiju - toplotu i svetlost. Oko akrecionog diska nalaze se oblaci gasa koji emituju široke linije. Normalno na akrecioni disk izbacuju se mlazevi (eng. jet) materije. Kretanje relativističkih elektrona u intenzivnom magnetnom polju ovih mlazeva rezultuje izraženim netermalnim kontinuumom sinhrotronskog zračenja. Dalje od centralnog izvora na udaljenosti do nekoliko desetina pc nalazi se neprozračni torus (eng. obscuring torus) uglavnom od neutralnog gasa i prašine. Pojednostavljenu strukturu AGJ čine: akrecioni disk u čijem centru je crna rupa, mlazevi i torus neutralnog gasa i prašine (slika 4).

Podela AGJ može se izvršiti: po tome da li objekat vidimo kao tačkast ili objekat koji zauzima određenu površinu prilikom posmatranja; prema izgledu optičkog spektra da li postoje emisione i/ili apsorpcione linije i koje su jačine i širine; prema promenljivosti u amplitudi u spektru. Na osnovu gore navedenih osnovnih razika u spektru aktivna galaktička jezgra možemo podeliti na pet vrsta: Sejfert galaksije tip 1 i tip 2, radio-galaksije, blazare, kvazare (eng. quasi stellar radio source-quasars) i aktivna galaktička jezgra slabog sjaja.

Sejfert galaksije uglavnom su spiralne galaksije tipa Sb ili SBb koje imaju sjajno jezgro i slab su radio izvor. Zbog razlike u spektrima Sejfert galaksija mogu se podeliti na tip 1 koji ima široke linije dozvoljenih prelaza i uske linije dozvoljenih i zabranjenih prelaza i tip 2 koji ima uske linije dozvoljenih i zabranjenih prelaza i slabiji kontinuum od Sejfert 1 (slika 5). Apsolutna bolometrijska magnituda Sejfert 1 je  $M_{bol} \leq -21$ , a Sejfert 2 je nešto manjeg sjaja  $M_{bol} \leq -20$ . Postoje i podtipovi Sejfert galaksija, podela izvršena je na osnovu izgleda optičkog spektra. Izvršena podela na klase između tipa 1 i tipa 2 je na: Sejfert 1.5 koje imaju vidljivu široku i usku komponentu dozvoljenih linija, Sejfert 1.8 ima slabe široke

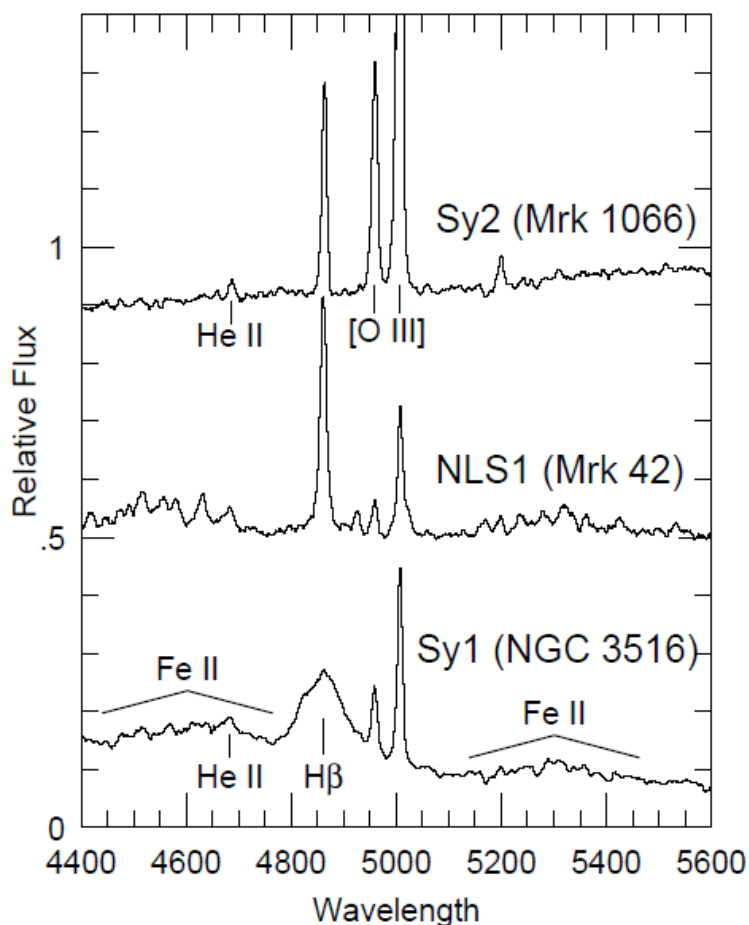




Slika 4: Šematski prikaz unifikacionog modela AGJ prikazuje u središtu crnu rupu oko koje je akrecioni disk, neprozračni torus i mlazevi. Zaklonjena torusom je širokolinijska oblast, a dosta dalje od jezgra nalazi se uskolinijska emisiona oblast. Unutar užeg konusa izbacuju se mlazevi naelektrisanih relativističkih čestica. Na ovoj šemi mogu se videti različite tipove AGJ u zavisnosti orijentacije AGJ prema posmatraču. Slika preuzeta sa web stranice <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1421context=space-grant>

linije  $H\alpha$  i  $H\beta$  i Seyfert 1.9 ima samo slabe široke linije  $H\beta$ . Posebnu klasu Seyfert 1 galaksija čine galaksije koje u spektru pokazuju nešto uže široke emisione linije, čiji naziv je NLSy1 (eng. Narrow Line Seyfert - NLSy) prikazana na slici 5. Karakteristike NLSy1 su sledeće: širina linije na polovini maksimuma je manja od  $FWHM < 2000$  km/s, slaba emisija u [OIII] liniji odnos flukseva [OIII] i  $H\beta$  je manji od 3 ( $F[OIII]\lambda 5007/F(H\beta) < 3$ ) i jake emisione linije FeII.

Kvazari su jezgra eliptičnih galaksija koji samo liče na zvezde, a i sam naziv na engleskom ukazuje na to-quasi stellar object (QSO). Najudaljeniji i najsjajniji objekti od svih AGJ. Najveći crveni pomak koji je izmeren je do  $z=7$  što ukazuje na to da su to najdalji AGJ objekti, a apsolutna bolometrijska magnituda je  $M_{bol} \leq -23$ . Kvazari se dele na dva tipa, tip 1 sa uskim i širokim emisionim linijama, a tip 2 ima samo uske emisione linije. Pored ove podele dele se i prema radio osobinama: radio-



Slika 5: Optički spektri Sejfert 2 je gornji, NLSy 1 je srednji i Sejfert 1 donji spektar galaksija. Tip 1 ima široke i uske emisijske linije, tip 2 prikazuje samo uske emisijske linije i NLSy ima malo proširenu zabranjenu liniju, slabu emisiju u [OIII] i jaču emisiju gvožđa nego kod Sy 1 i Sy 2. Slika iz rada (Pogge, 2000).

glasni kvazari (Radio Loud - RL QSO) čine od 5-10% i radio-tihi kvazari (Radio Quiet - RQ QSO). Još jedna osobina koja ih može razlikovati od Sejfert 1 galaksija su apsorpcijske linije u spektru. Apsorpcijske linije su pomerenе ka plavom delu spektra u odnosu na emisijske što ukazuje na izbacivanje materije. Prisustvom apsorpcijskih linija kvazare možemo podeliti na kvazare sa uskim apsorpcijskim linijama (Narrow Absorption Line Quasars - NAL QSOs) i širokim apsorpcijskim linijama (Broad Absorption Line Quasars - BAL QSOs).

Blazari su brzo promenljivi radio-jaki izvori koji predstavljaju jezgra eliptičnih galaksija. Blazari imaju brze promene sjaja i jako polarizovano zračenje. Na slici 4. može se videti da je ugao gledanja direktno u mlaz relativističkih čestica koje se kreću iz centra galaksije. Ove čestice zrače u radio, X i  $\gamma$  domenu. Blazari se dele na BL Lacertae (BL Lac) i optički intenzivno promenljive kvazare (Optically Violently Variable quasars - OVV kvazari) koji imaju široke optičke emisijske linije.

Aktivna galaktička jezgra slabog sjaja su jezgra spiralnih galaksija koje se kraće zovu LINER (Low Ionization Nuclear Emission Line Region - LINER). To su nisko-

jonizovane emisione oblasti gde se pojavljuju jake linije neutrala, a slabe linije više puta jonizovanih elemenata. Od svih tipova AGJ ovaj tip ima najmanju luminoznost pa pripada grupi AGJ slabog sjaja (Low Luminosity Active Galactic Nuclei - LLAGN).

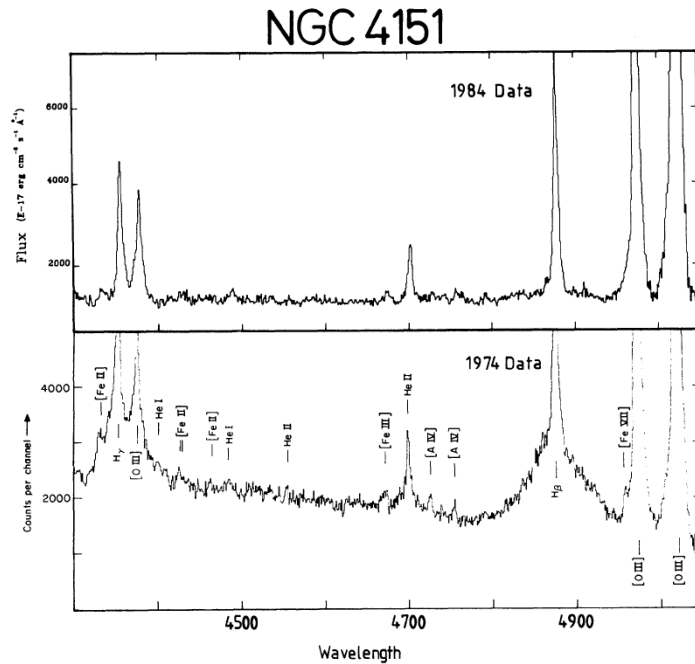
Poslednja vrsta AGJ su radio-galaksije. Radio-galaksije su džinovske eliptične galaksije koje svojim spektrom potsećaju na Sejfert 1 i 2 galaksije koje su inače slabi radio izvori. Sve radio-galaksije su radio glasni izvori u koje spadaju već pomenuti RL QSO. Podela kao i kod drugih vrsta AGJ je na osnovu širine ili intenziteta linije, tako da se dele na radio-galaksije sa širokim linijama (Broad Line Radio Galaxies - BLRG), radio-galaksije sa uskim linijama (Narrow Line Radio Galaxies - NLRG) i radio-galaksije sa slabim linijama (Weak Line Radio Galaxies - WLRG). Radio-galaksije imaju radio-ovalne (eng. radio lobes) i radio-mlazeve (eng. radio jets) te strukture mogu biti u velikom rasponu veličina. Radio-mlazevi su spona između centra galaksije i radio-ovalna tako što se preko mlazeva vrši prenos velike količine materije iz centra ka ovalima. Radio-glasna aktivna galaktička jezgra mogu se podeliti u dve grupe: radio-jaki izvori sa radio zračenjem iz kompaktne oblasti tj. jezgra CD (eng. core dominant) i izvori sa radio zračenjem koje je najjače iz radio-ovalna LD (eng. lobe dominant).

Sve posmatračke osobine različitih tipova AGJ se mogu objasniti unifikacionim modelom AGJ. Ideju o unifikacionom modelu dao je Donald Osterbrok 1978. godine (Osterbrock, 1978). Jedinstvenim modelom predstavljeni su svi tipovi AGJ što pokazuje da svi tipovi imaju istu strukturu, a da se razlikuju u spektralnim osobinama koje potiču od različite orijentacije akrecionog diska i torusa u odnosu na posmatrača videti na slici 4. Izgled unifikacionog modela na dužinskoj skali je ovakav. U radijusu od  $10\mu\text{pc}$  nalazi se super masivna crna rupa sa masom  $M_{\text{SMCR}} \sim 10^6 - 10^{10}M_{\odot}$ , do radijusa do 1 mpc prostire se akrecioni disk. Akrecioni disk okružuju oblaci gasa koji se prostiru do 0.1 pc gledajući od centra i emituju široke linije. Oblaci gasa kreću se brzinom od 1000 do 10000 km/s. Sledeći deo koji okružuje je torus prašine koji se prostire od spoljašnje granice široko pojasnog regiona (eng. Broad Line Region - BLR) pa do udaljenosti od 10 do 100 pc. Ovo je uskolinijska oblast (Narrow Line Region - NLR) gde su brzine od 100 do 900 km/s koje je iznad torusa i nije potpuno zaklonjena. Ovaj model za sada dobro opisuje spektralne osobine velikog broja AGJ. Upoznali smo sve vrste AGJ i mogu se svrstati na radio gasne i to su: radio jaki kvazari, blazari i radio galaksije; a u radio tihe: radio slabi kvazari i Sejfert galaksije. Unifikacioni model detaljno je prikazan i objašnjen u radu Antonucci (1993). Međutim, ovaj model ima nedostataka. Kod nekih galaksija, na osnovu posmatranja, uočeno je da rasejani i polarizovani spektri AGJ tipa 1 nisu nađeni u svim AGJ tipa 2 i procenat polarizovanog zračenja je manji od predviđenim modelom. Posmatranjem utvrđeno je da deo galaksija nema širokolinijski region, a postoji više mogućnosti zbog čega je tako: širokolinijski region je kompaktan, a da je torus dovoljno širok i da pokrije potpuno emisiju ovog regiona; galaksije se posmatraju u ravni torusa koje je optički debeo i sa malim uglom otvora i time pokriva i rasejanu svetlost; objekti prividno slabog sjaja koji se teško identifikuju na velikim crvenim pomacima.

## 1.2 Ekstremno promenljiva AGJ

Aktivna galaktička jezgra klasifikuju se u tip 1 i tip 2 na osnovu oblika emisionih linija (Seyfert, 1943; Khachikian and Weedman, 1971). Tip 1 pokazuje široke (1000-20000 km/s) i uske (300-1000 km/s) emisione linije dok su kod tipa 2 vidljive samo uske emisione linije (Netzer, 2015). Ova podela objašnjena je u unifikacionom modelu (Antonucci, 1993) kao efekat ugla gledanja zaklonjenog širokolinijskog regiona (BLR). Postoje međutipovi AGJ. Tip 1.8 (1.9) sa širokom  $H\alpha$  i slabom (odsutnom)  $H\beta$  linijom (Osterbrock, 1981). Tip 1.5 između 1 i 2 sa vidljivom uskom komponentom  $H\beta$  koja je superponirana na široku komponentu  $H\beta$  linije (Osterbrock and Koski, 1976). Objekti koji su međutipovi AGJ objašnjeni su kao tip 2 posmatrani u rasejanoj svetlosti (Antonucci and Miller, 1985) ili delimično pomračeni prašinom (Stern and Laor, 2012). Postoje mogućnosti da su u pitanju različite faze evolucije (Penston and Perez, 1984; Korista and Goad, 2004; Wang and Zhang, 2007; Elitzur et al., 2014). Penston i Perez predložili su da AGJ tipa 2 može biti tip 1 u kojem je izvor kontinualnog zračenja privremeno "isključen". Primećeno je da neka AGJ menjaju spektralne tipove i oni se nazivaju ekstremno promenljiva (eng. changing-look - CL) AGJ. Prvobitno izraz "CL" korišćen je samo kod posmatranja u rendgenskom domenu jer je kod posmatranih objekata otkriveno da prelaze iz Kompton-gustih (eng. Compton - thick) u Kompton-retki (eng. Compton - thin) i obrnuto (Matt et al., 2003). Po unifikacionom modelu postoji materijal koji blokira centralni izvor kontinuuma (to je ono što se naziva torus), u zavisnosti od gustine materijala imaćemo da je materijal prozračan ili ne. U slučaju Kompton-gustih sredina je gusta i neprozračna, imamo pojačano Komptonovo rasejanje. Ako je apsorpcioni materijal veoma gust, veći od linijske gustine  $\sigma_T^{-1} = 1.5 \cdot 10^{-24} \text{cm}^{-2}$  takvi izvori se smatraju Kompton-gusti izvori, ako je manja od  $\sigma_T^{-1}$  onda su Kompton-retki izvori. Kompton-gusti izvori su zanimljiviji za izučavanje materije oko jezgra jer prvobitno emitovano zračenje ostaje nepromenjeno u rendgenskom domenu. Kompton-gusti apsorberi nalaze se bliže jezgru, kompaktni su i uglavnom visoko jonizovani. Kompton-retki apsorberi nalaze se na većim udaljenostima od Kompton-gustih, njih mogu predstavljati: galaktički disk (Maiolino and Rieke, 1995), trake prašine (Malkan et al., 1998) i oblaci formiranja zvezda (eng. starburst cloud) (Weaver, 2001).

Naziv ekstremno promenljive AGJ se proširio i sad se koristi i za promene u svim segmentima elektromagnetnog spektra, a ne samo u X domenu. Promene spektralnog tipa AGJ pojavom ili nestankom širokih emisionih linija praćene promenama fluksa kontinuuma na astrofizički kratkim vremenskim intervalima (manje od 1 godine do nekoliko decenija) otkrivene su samo u malom broju AGJ. Prvi put je objavljena promena kod širokih emisionih linija kod Seyfert galaksija u radu Khachikian and Weedman (1971). Dugogodišnje posmatranje AGJ pokazalo je da su samo neke AGJ promenile iz tipa 1 u tip 2 ili obrnuto. Aktivno galaktičko jezgro Mrk 1018 je iz tipa 1.9 prešla u tip 1 i posle 30 godina se vratila u tip 1.9 (Cohen et al., 1986; McElroy et al., 2016). Široke emisione linije NGC 4151 koje su prvobitno pripadale tipu 1.5 (Osterbrock, 1977) jednom su nestale, vidi na slici 6. (Antonucci and Cohen, 1983; Lyutyj et al., 1984; Penston and Perez, 1984) i vratile se (Shapovalova et al., 2010). Promene u NGC 4151 objašnjavaju se ubrzanim isticanjem materije koja potiče od crne rupe (Shapovalova et al., 2010).



Slika 6: Spektar NGC 4151 iz 1974. i 1984. godine. Prikaz nestanka široke H $\beta$  linije na spektru iz 1984. godine. Slika iz rada (Penston and Perez, 1984).

Iako je varijabilnost već odavno prepoznata odlika kod kvazara, tek su posljednjih godina nove generacije širokopojasnih optičkih istraživanja omogućile sistematsko proučavanje posebnih slučajeva. Prvi ekstremni promjenljivi kvazar otkrio je LaMassa et al. (2015) uočena je promena iz tipa 1 u tip 1.9. U spektrima se vidi ili slabljenje ili pojačanje kontinuuma, ako je zatamnjenje to odgovara prelasku iz tipa 1 u tip 1.9/2, a svetlije promene iz tipa 1.9/2 u tip 1. U radu Stern et al. (2018) indentifikovana je nova klasa ekstremno promjenljivih AGJ u kojima se jaki UV kontinuum i široke emisijske linije vodonika povezane sa nepomračenim kvazarima koji se pojavljuju ili nestaju u vremenskim razmacima od nekoliko godina. O fizičkim procesima odgovornim za ove ekstremno promjenjive kvazare još se raspravlja, ali čini se da su fizičke promene u akrecionom disku uzrok, a ne promene neprozračnosti okolnog materijala koji zaklanja centralni izvor. Pretpostavlja se da su ove strukturne promene akrecionog diska povezane sa promenama brzine akrecione stope u crnoj rupi.

Fizički mehanizmi promena su još uvek tema diskusija. Priroda prelaza iz tipova važna je za razumevanje evolucije AGJ. Glavni mogući mehanizmi su:

- (1) Promena sjaja usled kretanja neprozračnog materijala - ukoliko torus prašine zaklanja BLR, ali ima neravnomernu raspodelu koja dovodi do promene sjaja (Nenkova, Sirocky, Ivezić and Elitzur, 2008; Nenkova, Sirocky, Nikutta, Ivezić and Elitzur, 2008; Elitzur, 2012) ili usled ubrzanog izbacivanja gasa koji zaklanja centralni izvor (Shapovalova et al., 2010);
- (2) Promena brzine akrecije tokom evolucije AGJ - evolucija AGJ, prelazak iz tipa 1 u tip 2 ili obrnuto (Penston and Perez, 1984; Elitzur et al., 2014);
- (3) Plimsko rasturanje zvezda (eng. Tidal Disruption Event - TDE) usled jakog gravitacionog polja SMCR, dolazi do rasturanja omotača ili cele zvezde, što može

dovesti do promene izgleda spektra odnosno različite klasifikacije AGJ (Eracleous et al., 1995; Merloni et al., 2015; Blanchard et al., 2017).

### 1.3 Ekstremno promenljivi objekti u ovom istraživanju

U ovom radu analizirani su spektri četiri AGJ: Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252. Ovi objekti pripadaju grupi ekstremno promenljivih AGJ. Ovde se prikazuje promena u optičkom delu spektra. Dalje u tekstu dajemo njihove osnovne karakteristike i pregled izabраниh prethodnih istraživanja i rezultata.

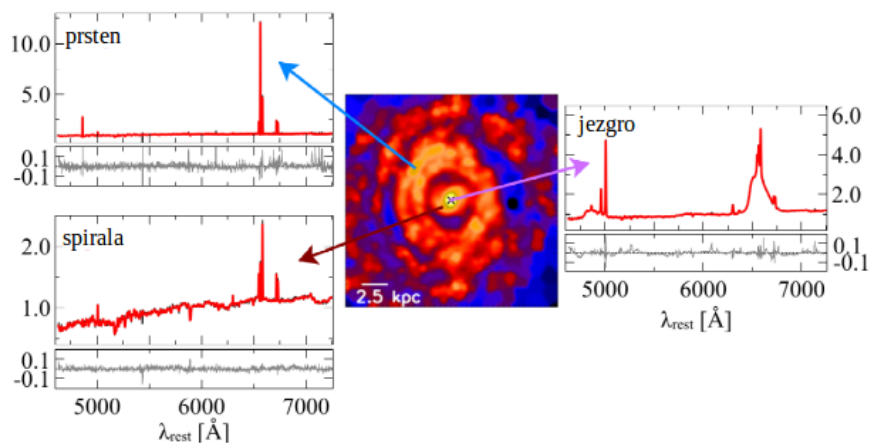
Tabela 1: Fizičke osobine galaksija Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252. Dat je tip galaksije, crveni pomak  $z$ , magnituda u V filteru i srednji prečnik.

	Mrk 590	Mrk 926	Mrk 1018	NGC 5252
tip	SA(s)a	S0a	S0	S0
$z$	0.026	0.047	0.043	0.023
$m_V$	13.81	15.91	15.50	14.21
D [kpc]	34.47	56.94	64.06	41.83

#### 1.3.1 Mrk 590

Prvi od objekata je ekstremno promenljivo AGJ Mrk 590. Sejfert galaksija Mrk 590 pripada tipu Sa galaksija na crvenom pomaku  $z=0.026385$  (493 pc/" ) sa preko 40 godina posmatranja u više delova elektromagnetnog spektra (Denney et al., 2014). Ova galaksija ima aktivno jezgro čiji je tip aktivnosti AGJ varirao između posmatranja. Od 1970-ih do 1990-ih fluks Mrk 590 povećao se za oko 10 puta. U 1990-ima ova galaksija bila je tipična galaksija Sejfert tipa 1, sa velikom stopom akrecije mase koja odgovara Edingtonovom odnosu od 0.1 (Peterson et al., 1998a). Ovaj objekat pokazao je sjajni AGJ kontinuum koji je istaknutiji od zvezdane emisije galaksije domaćina i prisutnosti širokih Balmerovih emisionih linija u optičkom domenu (Peterson et al., 1998b). Međutim, od tada se fluks kontinuuma AGJ kontinuuma smanjio za faktor više od 100 u svim talasnim opsezima, a između 2006. i 2012. godine široka  $H\beta$  emisiona linija je potpuno nestala (Denney et al., 2014). Denney et al. 2014. pokazali su da prelazak Mrk 590 iz jednog tipa u dugi nije rezultat pomračenja signala već su ponudili dva argumenta: 1) nema dokaza o suštinskom pomračenju u rendgenskom domenu; 2) zabranjena linija [O III] 5007 Å pokazuje varijacije fluksa na dužim vremenskim skalama, [O III] proizvodi se u NLR koja se nalazi mnogo dalje (na kpc skali) od BLR, promene fluksa zahtevale bi nemoguće veliko pomračenje sistema da sakrije oba regiona, BLR i NLR. Takođe ovi naučnici smatraju da je promena u tipovima bila zbog promene stope akrecije mase AGJ. Ovu hipotezu potkrepila su radio-posmatranja koja pokazuju da su varijacije radio fluksa Mrk 590 tokom poslednjih nekoliko decenija dosledni su sa optičkim i rendgenskim promenama isključujući pomračenje u Mrk 590 (Koay et al., 2016). Zbog uočenih spektralnih promena, Mrk 590 je objekat za kontinuirano posmatranje na

svim talasnim dužinama kako bi se ispratio prelazak u tipove. U radu Raimundo (2019) predstavljeni su rezultati sa MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer - MUSE) - optička posmatranja i SINFONI (Spectrograph for INtegral Field Observations in the Near Infrared - SINFONI) - bliska infracrvena, ta posmatranja su pokazala ponovnu pojavu širokih emisionih linija u periodu 2014-2017. Mrk 590 jedan od retkih AGJ-a kod kojih su široke emisione linije nestale i ponovo se pojavile u roku od godinu do jedne decenije. Galaksija domaćin pokazuje prsten u kojem se formiraju zvezde na radijusu od 4.5 kpc sa čvorovima jonizovane i hladne emisije molekularnih gasova. U jezgru se otkrivaju proširene emisije jonizovanih i toplih molekularnih gasova, što ukazuje na to da se rezervoar gasa nalazi na oko 60 pc od crne rupe. Uočena je gasna spirala između poluprečnika  $r \sim 0.5 - 2$  kpc, koja je predložena kao dinamički mehanizam u stanju da pokreće neophodni gas za gorivo AGJ (slika 7). U radu Raimundo et al. 2019. otkriven je plavi pomak i velika brzina disperzije [O III] emitovane izvan poluprečnika od 1 kpc koja prati izbacivanje gasa. Dinamika gasova u Mrk 590 ukazuje na složenu ravnotežu između priliva i izbacivanja gasa u jezgru galaksije.



Slika 7: Model centralnog dela Mrk 590. Prikaz GANDALF (Gas AND Absorption Line Fitting algorithm - algoritam istovremeno fituje zvezdani kontinuum i emisione linije radi određivanja kinematike) fitovanje rezultata za tri različita regiona. Na svakom grafiku predstavljeni su: spektar galaksije (crna), najbolji fit modela galaksije (crvena) i ostatak (siva). Centralna slika prikazuje mapu fluksa uske H $\alpha$  emisione linije (Raimundo, 2019).

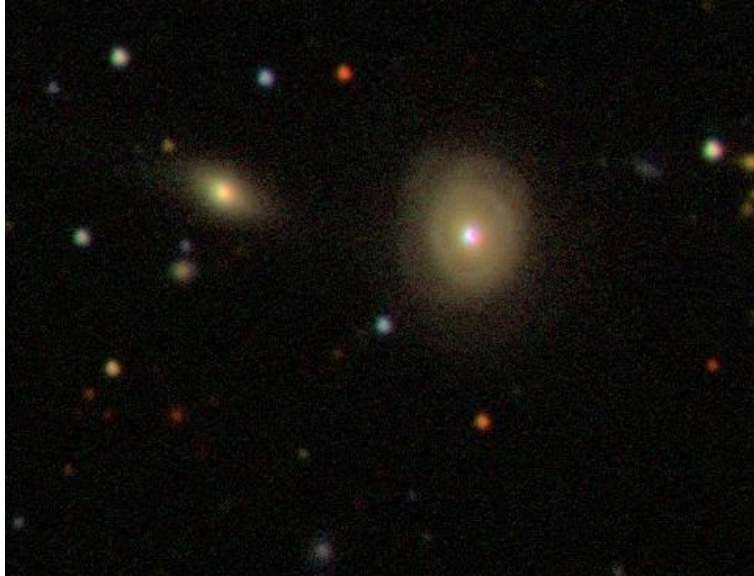


Slika 8: Slika galaksije Mrk 590. Preuzeta sa SDSS.

### 1.3.2 Mrk 926

Mrk 926 je Sejfert 1 galaksija sa vrlo širokim emisionim linijama, čiji Balmerove i helijumove linije imaju širine (FWHM) veće od 10000 km/s (Kollatschny et al., 2006) pokazali su da Mrk 926 ima jake promene amplituda  $H\beta$  linije. Nuklearnu aktivnost prvi su put otkrili u Mrk 926 (Ward et al., 1978). Mrk 926 je svetliji član galaksije (RA = 23:04:43.5, DEC = -08:41:09 (J = 2000.0),  $z = 0.04702$ ) u dvojnomoj sistemu. Bliski pratilac je 2MASX J23044397-0842114 (RA = 23:04:44.0, DEC = -08:42:11 (J=2000.0),  $z = 0.04731$ ) nalazi se jednu lučnu minutu južno. Osterbrock and Shuder (1982) objavili su profil emisione linije Mrk 926, linije se nisu menjale od jula 1978. do decembra 1979. Kollatschny et al. (2006) objavili su da kontinuum i Balmerove linije Mrk 926 u periodu od 1990. do 1997. godine imale velike varijacije. Profili Balmerovih linija u Mrk 926 izuzetno su široki, širina linija je 8520 km/s rms profil (FWHM rms) i 11920 km/s srednji profil (FWHM mean) (Kollatschny and Zetzl, 2010).





Slika 9: Slika galaksije Mrk 926. Preuzeta sa SDSS.

### 1.3.3 Mrk 1018

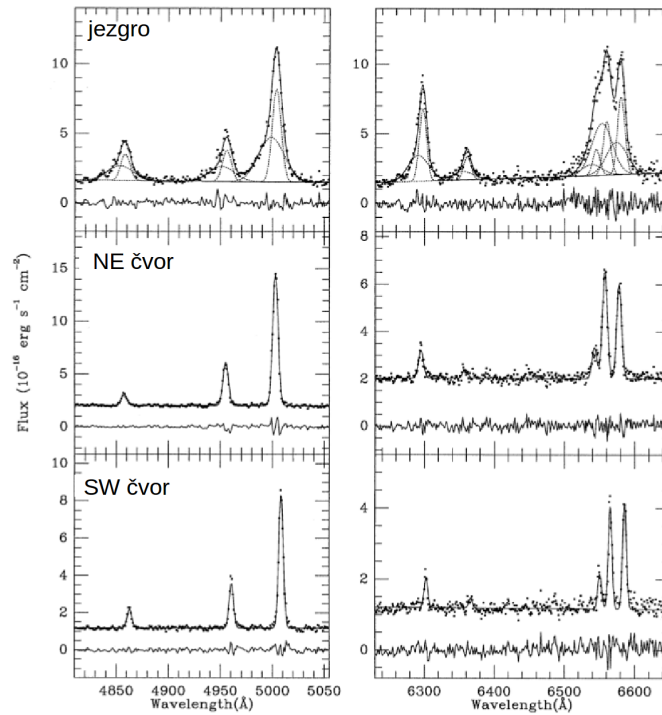
Galaksija Mrk 1018 je jedna od najranijih otkrivenih primera ekstremno promenljivih AGJ na crvenom pomaku  $z = 0.04296$ . Ovaj objekat prešao je iz tipa 1.9 u tip 1 za manje od pet godina (Cohen et al., 1986). U radu McElroy et al. (2016) prikazana je evolucija profila linija  $H\alpha$  i  $H\beta$  1996-2015. U fazi kada nije pomračen BLR oblik širokih linija skoro je nepromenjen. Dok na spektru sa MUSE iz 2015. vidi se drastična promena  $H\beta$  linije koja je slabo proširena. Takođe, primećen je veći gubitak fluksa u crvenom kraku profila  $H\alpha$  linije na spektru MUSE iz 2015. Izmeren je FWHM široke komponente  $H\alpha$  i iznosi 3300 km/s. Plimski poremećaj (TDE) masivne zvezde od strane centralne crne rupe može uzrokovati promenu spektra AGJ-a zbog bljeska u akreciji. Plimski poremećena zvezda privremeno odliva materiju ka jezgri sve dok ne bude uništena (Merloni et al., 2015). U središtu Mrk 1018 nalazi se dvojni sistem supermasivnih crnih rupa koje mogu prouzrokovati nestabilnosti akrecionog diska i BLR. To dovodi do naglog pada stope akrecije i promene oblika emisionih linija. Jezgro Mrk 1018 dostiglo je minimum sjaja 2016. godine to je pratilo kratak odliv. Ako je to zaista bio minimum sjaja magnitude je samo za red slabija u odnosu na onu iz sjajne faze (Krumpe et al., 2017).



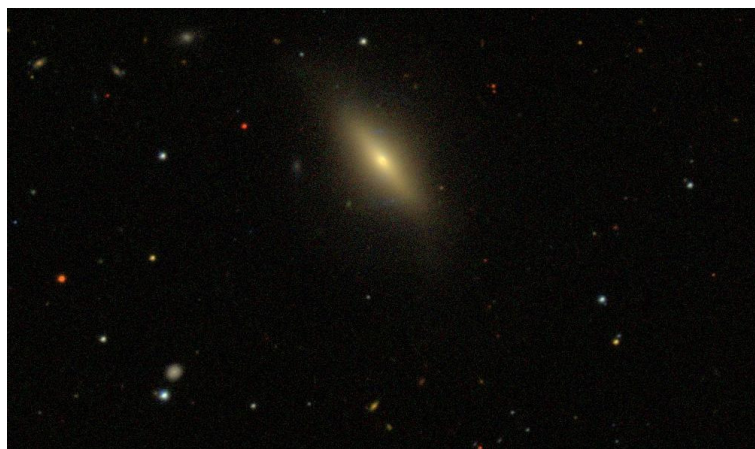
Slika 10: Slika galaksije Mrk 1018. Preuzeta sa SDSS.

#### 1.3.4 NGC 5252

NGC 5252 je sočivaska galaksija (S0) galaksija sa crvenim pomakom  $z=0.023$  (RA =13:38:15.87, DEC =+4:32:33.53 J=2000.0). Spektar jezgra pokazali su da se radi o galaksiji Sejfert 2 (Veron-Cetty and Veron, 1986; Huchra and Burg, 1992). Međutim, Osterbrock and Shuder (1993) pronašli su slabu široku komponentu  $H\alpha$  u oblasti jezgra. U radu Acosta-Pulido et al. (1996) potvrdili su postojanje ove široke komponente sa  $FWHM = 2485 \pm 78$  km/s, što ukazuje na Sejfert 1. U radu Goncalves et al. (1998) prikazali su da spektar jezgra ima dva svetla čvora smeštena na 0."36 severo-istočno i 0."31 južno-zapadno od jezgra (slika 11). Pokazali su da regija jezgra ima karakteristike LINER-a sa izuzetno jakim [OI] linijom, sve linije su široke  $FWHM \sim 1100$  km/s, dok izvan jezgra je Sejfert 2 sa uskim linijama (200-300 km/s).



Slika 11: Prikaz spektra jezgra i dva čvora smeštena na 0."36 severo-istočno i 0."31 južno-zapadno od jezgra. Na levoj strani predstavljena je  $H\beta$ , a na desnoj  $H\alpha$  oblast spektra. Unutar svake slike gornji spektar je spektar AGJ, a donji spektar je ostatka. Regija jezgra NGC 5252 ima karakteristike LINER-a sa izuzetno jakom [OI] linijom. Slika iz rada (Goncalves et al., 1998).



Slika 12: Slika galaksije NGC 5252. Preuzeta sa SDSS.

## 1.4 Cilj i struktura rada

Predmet ovog rada su objekti koji pokazuju specifične karakteristike i promene u optičkim spektrima tako da su svrstani u malu grupu ekstremno promenljivih aktivnih galaksija. Obrađeni i analizirani su optički spektri sledećih ekstremno promenljivih AGJ: Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252. Dat je opis obrade novih do sad neobjavljenih spektara snimljenih tokom 2019. i 2020. sa WHT i analizirani zajedno sa arhivskim podacima sa SDSS (Sloan Digital Sky Survey - SDSS), VLT (Very Large Telescope - VLT) i HST (Hubble Space Telescope - HST). Specifičnost ovih AGJ u odnosu na druge je u tome što je primećeno da u spektrima karakteristične emisione linije mogu da nestanu i da se ponovo posle određenog vremena pojave. Nije u potpunosti jasno šta prouzrokuje ovaj fenomen, ali moguće je da dolazi do promene strukture akrecionog diska, pomračenja emisionog regiona koji emituje široke linije nekom neprozračnom materijom, eksplozije supernove, plimskih pojava usled gravitacionog dejstva crne rupe i drugih pojava. U ovom radu pokazana je promena oblika i širine linije, izračunate su vrednosti širine i asimetrije linije. Prilikom izrade ovog rada doprinelo se razvoju i usavršavanju koda FANTASY (Fully Automated pythoN Tool for AGN Spectra analYsis = FANTASY) (Rakić, 2020). U narednom poglavlju, 2. „Spektri i obrada spektara“, biće opisan postupak pronalazjenja arhivskih spektara i obrada u IRAF-u novih spektroskopskih podataka sa WHT teleskopa koji do sad nisu bili obrađeni, analizirani ni objavljeni. Zatim odeljak 3. „Analiza spektara i rezultati“ gde je prikazan postupak oduzimanja zračenja galaksije domaćina, fitovanje i modelovanje spektralnih linija koristeći kod FANTASY; 4. „Diskusija“ i 5. „Zaključak“.

Osnovni cilj ovog rada je obrada novih sirovih spektara i osnovna analiza emisionih linija objekata: Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252, koji pripadaju ekstremno promenljivim AGJ. Dodatni cilj je poređenje analiziranih spektara sa arhivskim spektrima ovih objekata, kako bi se uočila eventualna nova ekstremna promena tipa.

## 2 Spektri i obrada spektara

U radu za analizu ekstremno promenljivih aktivnih galaktičkih jezgara korišćeni su novi sirovi spektri sa 4.2 metarskog teleskopa „Vilijam Heršel" koji do sad nisu objavljeni i arhivski kalibrsani spektri.

### 2.1 Nova posmatranja sa Vilijam Heršel teleskopom

Posmatranja sa Vilijam Heršel teleskopa dobijena su 1. avgusta 2019. i 6. januara 2020. godine i čine najnovije spektralne podatke sa kojima sam upoređivala arhivske spektre.

#### 2.1.1 Informacije o teleskopu i spektrografu

Glavni set podataka je sa 4.2 metarskog teleskopa „Vilijam Heršel" koji je deo opservatorije „Roque de Los Muchachos" na Kanarskim ostrvima (ostrvo La Palma) u Španiji. WHT pripada grupi Isak Njutn teleskopa u kojoj su još „Jakobus Keptejn" (Jacobus Kapteyn Telescope - JKT) i „Isak Njutn" teleskop (Isaac Newton Telescope - INT). Na teleskopu instalirano je nekoliko instrumenata, u Kasegran fokusu  $f/11$  montiran je ISIS (Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System - ISIS) spektrograf. ISIS spektrograf je visoke efikasnosti sa niskom i srednjom rezolucijom ( $600 < R < 12700$ ). Spektrograf je dugoprozorni (eng. longslit) sa dužinom proreza od 4' i širine 22". Disperzija je od 8 do 121 Å/mm. ISIS spektrograf ima dva kraka, plavi (eng. blue arm) i crveni krak (eng. red arm). U svakom kraku nalazi se po CCD detektor. U plavom kraku EEV12 je detektor sa dimenzijom čipa 2048x4096 piksela, a veličina jednog piksela je 13.5 μm i pokriva talasni opseg od 3000 Å do 6000 Å. U crvenom kraku je detektor RED+ sa čipom veličine 2048x4096 piksela, gde je veličina jednog piksela 15 μm i pokriva talasni opseg od 5000 Å do 10000 Å. Devet difrakcionih rešetki koristi se za ISIS, pet za plavi deo (R1200B, R600B, R300B, R158B i H2400B) i četiri za crveni deo (R1200R, R600R, R316R i R158R).

<sup>1</sup>.

#### 2.1.2 Posmatrački podaci

Tri galaksije Mrk 590, Mrk 926 i Mrk 1018 posmatrane su noć 31. jul na 1. avgust 2019. godine snimljeni su spektri u plavom i u crvenom kraku. Galaksija NGC 5252 posmatrana je 6. januara 2020. godine. Otvor proreza ISIS spektrografa bio je podešen na 1". Radne temperature CCD-a kamera održavane su na 157K. Pri ovom posmatranju korišćena je kombinacija dve difrakcione rešetke u crvenom kraku od 158 zarezova po milimetru R158R, a u plavom kraku od 300 zarezova po milimetru R300B i crveni filter GG495. U Tabeli 2. prikazane su karakteristike difrakcionih rešetki. Za FLATFIELD snimke spektara korišćena je volfram lampa. Spektre kalibracione

---

<sup>1</sup> Informacije o teleskopu WHT i spektrografu ISIS mogu se pronaći na internet stranici <http://www.ing.iac.es/astronomy/> i u radu (Boksenberg, 1985)

lampe dobijeni su upotrebom CuAr+CuNe lampe. Laboratorijske vrednosti talasnih dužina mogu se pronaći u katalogu na internet stranici.<sup>2</sup>

Tabela 2: Karakteristike difrakcionih rešetki korišćenih pri posmatranju sa ISIS spektrografom na WHT teleskopu.

Naziv rešetke	Broj zareza po mm	Centralna talasna dužina (Å)	Opseg (Å)	Disperzija (Å/mm)
R158R	158	7500	7530	121
R300B	300	4500	3535	64

Za ovo istraživanje posmatrane su četiri galaskije: Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252. Spektar NGC 5252 je veoma lošeg kvaliteta zbog loših vremenskih uslova, visoke vlažnosti vazduha tokom posmatranja, pa nije mogao da se upotrebi za dalju analizu. Potrebno je ponoviti posmatranje za ovaj objekat. Da bi se izvršila obrada spektara objekata bilo je potrebno snimiti kroz spektrograf BIAS, FLAT-FIELD, ARC i standardnu zvezdu. U odeljku o obradi spektara biće objašnjeno za šta se koristi svaki od navedenih kalibracionih snimaka spektara. Spektri su snimljeni u crvenom kraku ISIS spektrografa sa centralnom talasnom dužinom od 7500 Å i u plavom kraku ISIS spektrografa sa centralnom talasnom dužinom od 4500 Å. U Tabeli 3. i Tabeli 4. su podaci o snimcima za crveni i plavi krak, respektivno.

---

<sup>2</sup>Katalog kalibracionih spektralnih linija za crveni krak spektrografa nalaze se na [http://www.ing.iac.es/astronomy/observing/manuals/ps/tech\\_notes/tn126.pdf](http://www.ing.iac.es/astronomy/observing/manuals/ps/tech_notes/tn126.pdf) i za plavi krak spektrografa na [http://www.ing.iac.es/astronomy/observing/manuals/ps/tech\\_notes/tn125.pdf](http://www.ing.iac.es/astronomy/observing/manuals/ps/tech_notes/tn125.pdf).

Tabela 3: Podaci o sirovim snimcima spektara u crvenom kraku sa WHT.

Naziv	Koordinate $\alpha$ [h:m:s], $\delta$ [°:':"] J2000.0	Crveni pomak z	Broj spektara	Ekspozicija (s)
Mrk 590	02:14:33.5 -00:46:00.0	0.02609	2	1000
Mrk 926	23:04:43.5 -08:41:08.6	0.04702	3	800
Mrk 1018	02:06:16.0 -00:17:29.2	0.04296	3	1000
NGC 5252	13:38:15.9 04:32:33.0	0.02298	2	360 i 800
FlatField	-	-	11	4.5
CuAr+CuNe Arc	položaj objekta	-	11	3
Bias	-	-	21	0
SA93_424 standardna zvezda	01:55:26.4 +00:56:42.6	-	9	60

Tabela 4: Podaci o sirovim snimcima spektara u plavom kraku sa WHT.

Naziv	Koordinate $\alpha$ [h:m:s], $\delta$ [°:':"] J2000.0	Crveni pomak z	Broj spektara	Ekspozicija (s)
Mrk 590	02:14:33.5 -00:46:00.0	0.02609	2	1000
Mrk 926	23:04:43.5 -08:41:08.6	0.04702	3	800
Mrk 1018	02:06:16.0 -00:17:29.2	0.04296	3	1000
NGC 5252	13:38:15.9 04:32:33.0	0.02298	2	360 i 800
FlatField	-	-	11	3.2
CuAr+CuNe Arc	položaj objekta	-	11	60
Bias	-	-	21	0
SA93_424 standardna zvezda	01:55:26.4 +00:56:42.6	-	9	60

### 2.1.3 Obrada spektara

U ovom poglavlju opisana je obrada snimaka iz kojih su dobijeni spektri analizirani. Obrada spektara sa ISIS spektrografa izvršena je u IRAF-u.

Svi sirovi spektri obrađeni su u IRAF (Image Reduction and Analysis Facility - IRAF). IRAF je softver za obradu i analizu astronomskih podataka. Softver je napisan od strane naučnika sa NOAO Kit Peak (National Optical Astronomy Observatory Kitt Peak). IRAF uključuje dobar izbor programa za opštu obradu slika kao i veliki broj paketa za obradu i analizu podataka optičke astronomije u okviru NOAO paketa. Dodatni paketi su takođe dostupni za analizu HST, XRAY i EUV podataka. IRAF pruža kompletno programsko okruženje koje uključuje skriptu za komandni jezik, programski interfejs IMFORT Fortran i potpuno opremljeno programsko okruženje SPP/VOS u kome je zapisan prenosni IRAF sistem. Mnogi paketi za redukciju unutar IRAF sistema nisu ograničeni na upotrebu samo NOAO instrumenata. Zadaci unutar IRAF-a razvijeni su da obuhvate širok spektar upotrebe. Pri obradi spektara korišćeno je više paketa koji će biti navedeni u koracima obrade.

Podaci koji su navedeni u Tabeli 3. i Tabeli 4. obrađeni su kroz nekoliko koraka koristeći različite pakete u IRAF-u. Ovde je dat jedan od načina kako se obrađuju spektralni snimci sa CCD kamere. Zaista postoji veliki broj uputstava koji su dostupni, jedan od veoma korisnih je Massey et al. (1992).

#### **Prvi korak - BIAS korekcija**

BIAS je osnovni šum koji ima svaka CCD kamera, odnosno čip. Nivo šuma zavisi od temperature i karakteristika kamere, spoljašnjih, atmosferskih, uslova i drugih faktora. BIAS snimci snimaju se nekoliko puta u toku noći upravo zbog gore navedenih faktora koji nisu konstantni u toku posmatranja. U toku ovog posmatranja dobijena su dva seta BIAS snimaka, jedan na početku posmatračke noći, a drugi set na kraju posmatranja. Pojavljuju se male promene u oba seta tako da ih je potrebno usrednjiti i kreirati jedan BIAS. Kako bi se uklonio početni šum sa ostalih snimaka spektara prvo je potrebno usrednjiti BIAS snimke i tako usrednjen snimak oduzeti od ostalih snimaka (objekat, FLATFIELD, ARC i standardna zvezda). U IRAF-u za kreiranje usrednjenog BIAS-a korišćena je procedura *zerocombine* i za otklanjanje tog šuma sa ostalih snimaka korišćena je procedura *imartih*.

#### **Drugi korak - granice korisnog snimka**

Uglavnom, snimke spektara potrebno je odseći tako da sadrže deo iz kojeg se mogu izvući korisni podaci. Na FLATFIELD snimku određuju se granice koje je potrebno sačuvati. Kada se odrede granice, vrednosti korisnih kolona i redova, procedurom *imcopy* bias korigovane snimke kopiramo u izabranim granicama gde se nalaze korisni podaci.

#### **Treći korak - FLATFIELD korekcija**

FLATFIELD snimak je uniformno osvetljeno polje teleskopa. Korisiti se za ispravljanje anomalija u optičkom putu, kao što su čestice prašine na optičkim delovima, odstupanje osvetljenosti između piksela na CCD čipu i varijacije osvetljenosti unutar optičkog sistema (vinjetiranje - zatamnjenje na rubovima snimka). FLATFIELD predstavlja snimak jednako osvetljenog polja. Pri ovom posmatranju



korišćena je volfram sijalica koja daje ravno polje i snimljeno je u jednom setu za svaki krak po 11 snimaka. Prethodno BIAS korigovane i odsečene spektre potrebno je korigovati sa FLATFIELD snimcima. Potrebno je usrednjiti sve FLATFIELD snimke iz jednog kraka u jedan i normalizovati. Iz IRAF paketa *longslit* za usrednjavanje upotrebljen je procedura *flatcombine*, a za normalizaciju *response*. Preostali snimci spektara podeljeni su sa normalizovanim FLATFIELD-om.

#### Četvrti korak - uklanjanje kosmičkih zraka

Pojavljivanje kosmičkih zraka je nepredvidivo i skoro uvek su prisutni na snimcima. Zbog dugih ekspozicija (800 i 1000 sekundu) tragovi kosmičkih zraka su neizbežni. Na snimcima se jasno mogu videti tragovi koje je potrebno odstraniti, svaki snimak se posebno obrađuje kroz proceduru *lacos\_im* iz paketa *stsdas* u IRAF-u.

#### Peti korak - kalibracija ARC po talasnoj dužini

ARC snimak je snimak spektra kalibracione lampe. Kalibraciona lampa koja se koristi uz ISIS spektrograf je CuAr+CuNe lampa, poznate laboratorijske vrednosti talasnih dužina tri hemijska elementa, bakra, argona i neona, mogu se vizuelno identifikovati pomoću kataloga<sup>2</sup>. Kalibracioni snimak lampe koristi se za kalibraciju ostalih snimaka na talasnu dužinu. Za svaki set snimaka objekta snimljen je set ARC snimaka. Kako bi se kalibrisali spektri objekata prvo se identifikuju poznate linije kalibracione lampe. U IRAF-u koristi se procedura *identify* kako bi se na jednom ARC spektru unele laboratorijske vrednosti određenih spektralnih linija. Sledeća procedura koja se koristi je *reidentify* kojom se na ostalim ARC snimcima identifikuju linije koristeći prvo identifikovani ARC i poslednja procedura koje se primenjuje je *fitcoord*.

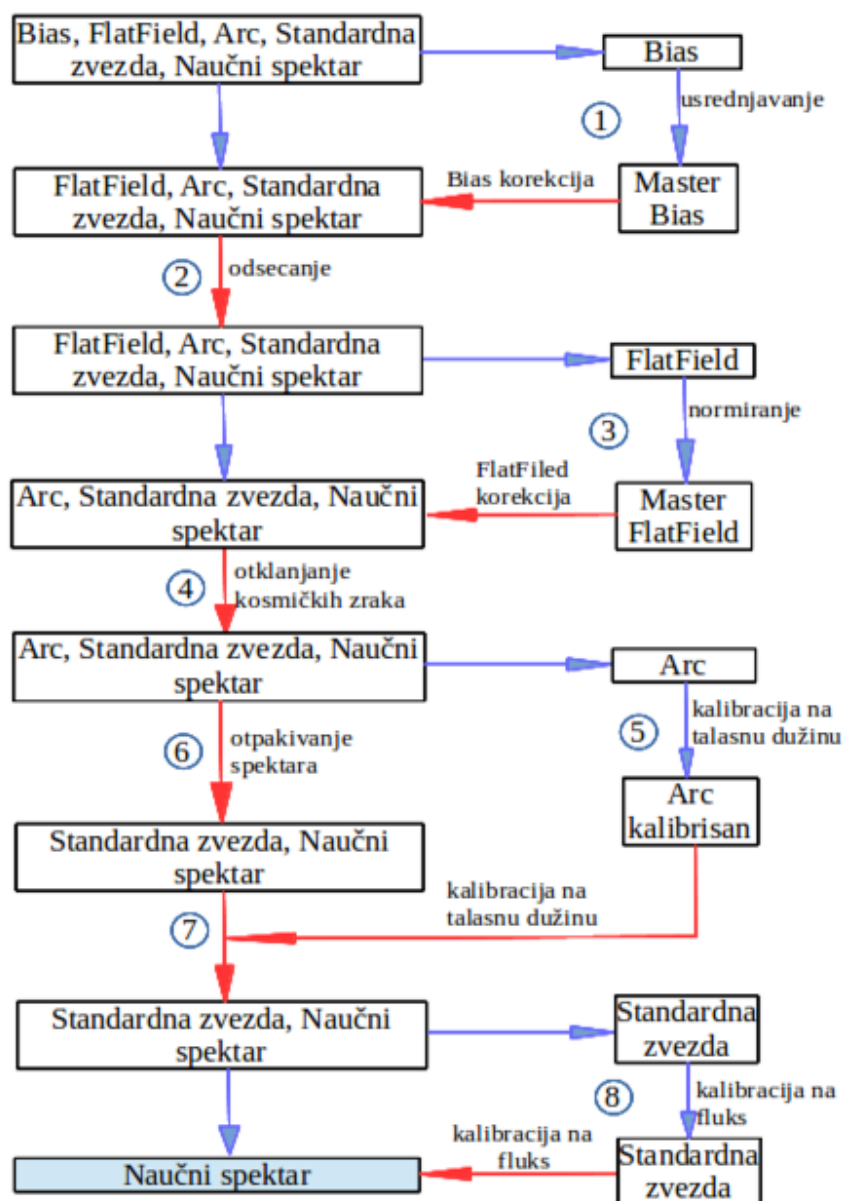
#### Šesti korak - otpakivanje spektara

U ovom koraku iz dvodimenzionog snimka dobija se jednodimenzioni spektar. Svaki snimak može imati jedan ili više spektara. U slučaju ISIS spektrografa disperzija je duž kolona. U programu IRAF za otpakivanje spektara koristi se procedura *apall*. Za definisanje aperture potrebno je podesiti parametre kao što su broj i širina aperture, vrstu i red polinoma kojim se fituje linija praćenja aperture spektara.

#### Sedmi korak - kalibracija objekata na talasne dužine

Kalibrisani ARC snimak spektra primenjuje se na snimke objekata kako bi se i ti snimci kalibrisali na talasne dužine. Primenom procedure *transform* kalibrišu se svi spektri objekata.

**Osmi korak - fluks kalibracija** Snimak spektara standardne zvezde koristi se za kalibraciju spektara objekta. Kod standardne zvezde poznata je minimalna promena fluksa odnosno magnitude po talasnim dužinama koja je nepromenljiva sa vremenom. Procedure koje se koriste kako bi se kalibrisao snimak spektra objekta po fluksu su *standard*, *sensfunc* i *calibrate*.



Slika 13: Šematski prikaz obrade spektara, od sirovih spektara do dobijanja naučnog spektra kalibrisanog na fluks. Brojevi koraka obrade upisani su u krugovima.

#### 2.1.4 Problemi u obradi sirovih spektara i rešenja

Prilikom obrade spektara bilo je nekoliko problema.

1) FlatField snimci imaju ulogu da isprave anomalije na optičkom putu kao što su čestice prašine na optičkim delovima, odstupanje osvetljenosti između piksela na CCD čipu i varijacije osvetljenosti unutar optičkog sistema. Međutim, FlatField snimci iz plavog kraka nisu otklonili anomalije i poravnali spektare objekata što je dovelo do toga da jedan deo krila  $H\beta$  linije nije pouzdan.

2) Posmatrana standardna zvezda iz ovog seta podataka ne nalazi se u IRAF bazi standardnih zvezda. Za ovo posmatranje snimljeni su spektri standardne zvezde SA93\_424. Međutim za posmatranu standardnu zvezdu nismo imali podatke koji su neophodni kako bi se izvršio proces kalibracije koristeći procedure u IRAF-u. U IRAF bazi nalaze se standardne zvezde koje imaju definisane parametre kao što su talasna dužina, magnituda i opseg (eng.bandpass). Samo takvu formu parametara program koristi kako bi izvršio proceduru kalibracije spektara na fluks. Proces kalibracije u ovom radu sastoji se iz pretrage spektara zvezde SA93\_424 u SDSS katalogu koji su kalibrisani na fluks, očitavanje talasnih dužina i flukseva i primena na posmatranu standardnu zvezdu iz podataka sa WHT-a. Za kalibraciju standardne zvezde potrebno je da imamo promenu magnituda po talasnim dužinama, pa su fluksevi pretvoreni u sistem AB magnituda kako je po IRAF pravilima. AB sistem magnituda definiše se tako izvor sa  $F_\nu = 3.63 * 10^{-20} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$  ima magnitudu  $m_{AB} = 0$  u svakom filteru, a generalno definiše se kao (Oke and Gunn, 1983):

$$m_{AB} = -2.5 \log F_\nu - 48.6$$

gde je fluks  $F_\nu$  izražen u  $\text{erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ .

Za pretvaranje fluksa u magnitudu koristi se sledeća formula:

$$m_{AB} = -2.5 \log F_\lambda - 5 \log \lambda - 2.402$$

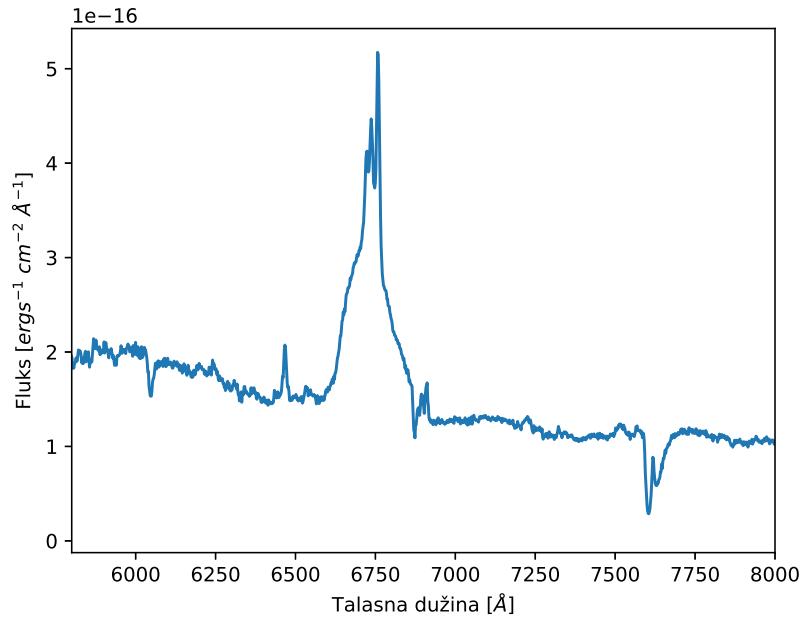
gde je fluks  $F_\lambda$  izražen u  $\text{erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ , a talasna dužina  $\lambda$  u  $\text{\AA}$ .

Posle ovog procesa mogli smo da primenimo navedene procedure iz koraka osam (*standard*, *sensfunc* i *calibrate*).

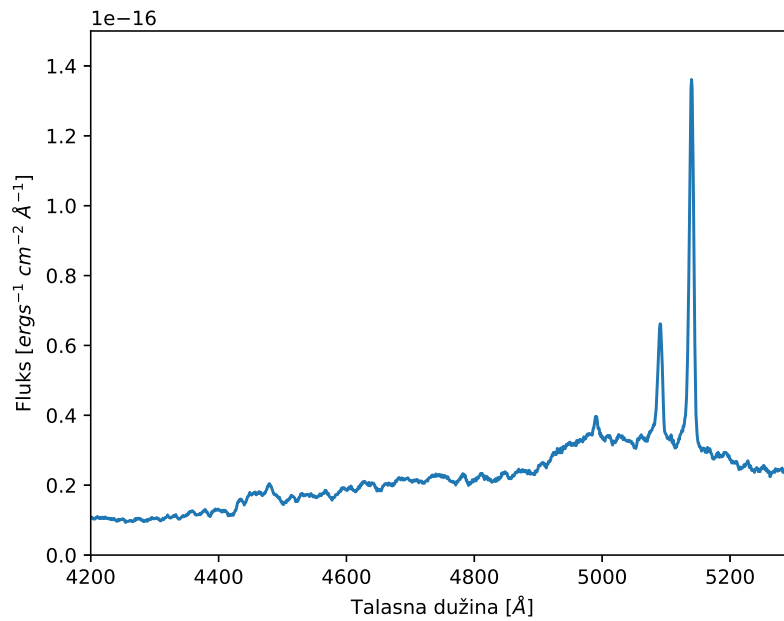
3) Skaliranje spektra. Spektri objekata kalibrisani su na [OIII] linije. Izmereni su fluksevi zabranjenih linija kiseonika, [OIII]  $\lambda 5007$  i [OIII]  $\lambda 4959$  [OIII]  $\lambda 6300$ , na SDSS spektrima za svaki objekat pojedinačno. U okviru komande *plot* u IRAF-u fitovanjem linija Gausovim profilom dobijene su vrednost flukseva. Svi spektri su skalirani tako da vrednost flukseva u ovim linijama bude ista. Taj korak je primenjen u poslednjoj fazi analize jer je neophodna za poređenje profila linija. Ovaj korak može da se poboljša upotrebom koda MAPSPEC (Fausnaugh, 2017) koji se upotrebljava za skaliranje astronomskih spektara na standardnu skalu fluksa.

4) Na spektrima kod  $H\alpha$  linije vide se atmosferska apsorpcija u B opsegu (6860-6890). Merene vrednosti širina  $H\alpha$  linija nisu u potpunosti relevantne zbog apsorpcije.

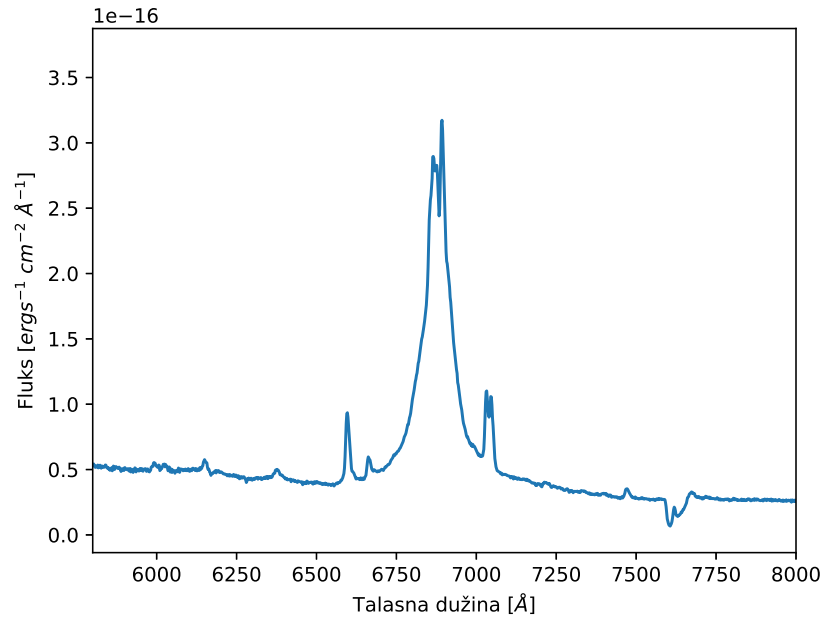
U nastavku od slike 14. do slike 19. prikazani su obrađeni spektri objekata Mrk 590, Mrk 926 i Mrk 1018 u crvenom i plavom kraku. Spektri na slikama od 14 do 19. nisu korigovani za crveni pomak, dok u odeljku „Analiza spektara i rezultati“ spektri su korigovani.



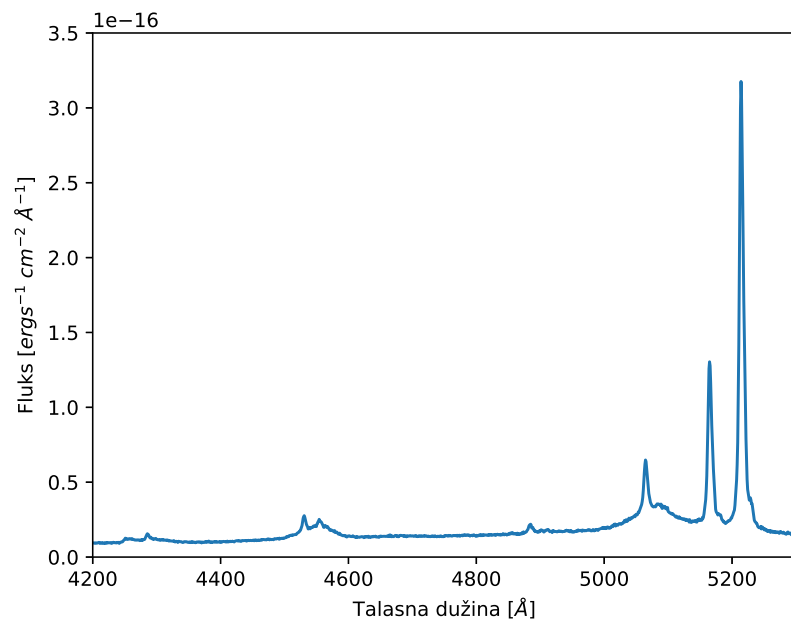
Slika 14: Optički spektar Mrk 590 u crvenom kraku. Podaci sa teleskopa WHT. Spektar snimljen 1. avgusta 2019.



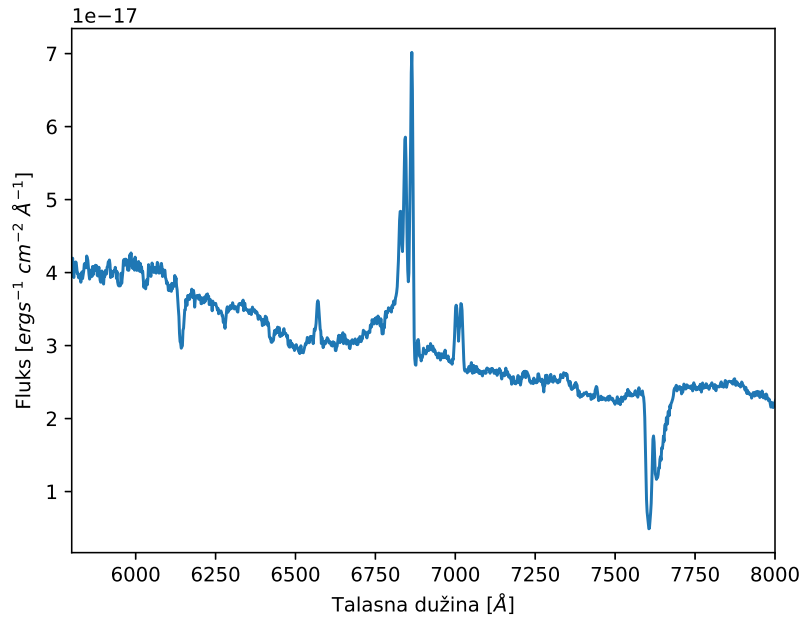
Slika 15: Optički spektar Mrk 590 u plavom kraku. Spektar sa teleskopa WHT. Spektar snimljen 1. avgusta 2019.



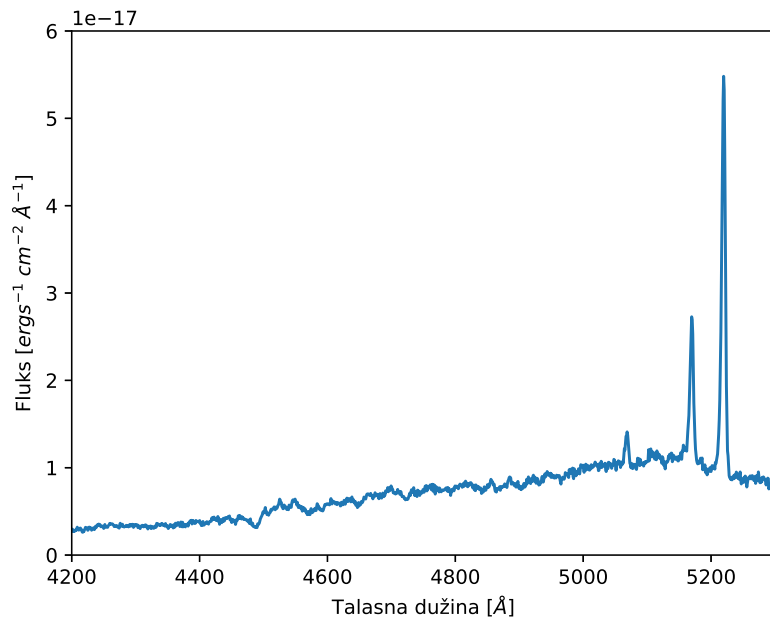
Slika 16: Optički spektar Mrk 926 u crvenom kraku. Spektar sa teleskopa WHT. Spektar snimljen 1. avgusta 2019.



Slika 17: Optički spektar Mrk 926 u plavom kraku. Spektar sa teleskopa WHT. Spektar snimljen 1. avgusta 2019.



Slika 18: Optički spektar Mrk 1018 u crvenom kraku. Spektar sa teleskopa WHT. Spektar snimljen 1. avgusta 2019.



Slika 19: Optički spektar Mrk 1018 u plavom kraku. Spektar sa teleskopa WHT. Spektar snimljen 1. avgusta 2019.

## 2.2 Arhivski spektri

Za potrebe ovog istraživanja bilo je potrebno koristiti spektre iz više astronomske baze. Pretražene su baze podataka sa tri teleskopa SDSS, VLT i HST. U nastavku dat je kratak opis za svaki od navedenih instrumenata i slike odabranih spektara. U Tabeli 5. nalaze se podaci o objektima uz pomoć kojih teleskopa su snimljeni i kad su snimljeni.

Tabela 5: Podaci o arhivskim spektrima, naziv objekta, naziv teleskopa i datum snimanja.

Objekat	Instrument	Datum
Mrk 590	SDSS	10.01.2003.
	VLT	02.02.2018.
Mrk 926	SDSS	15.12.2001.
Mrk 1018	SDSS	25.9.2000.
NGC 5252	SDSS	10.4.2002.
	HST	27.01.1999.

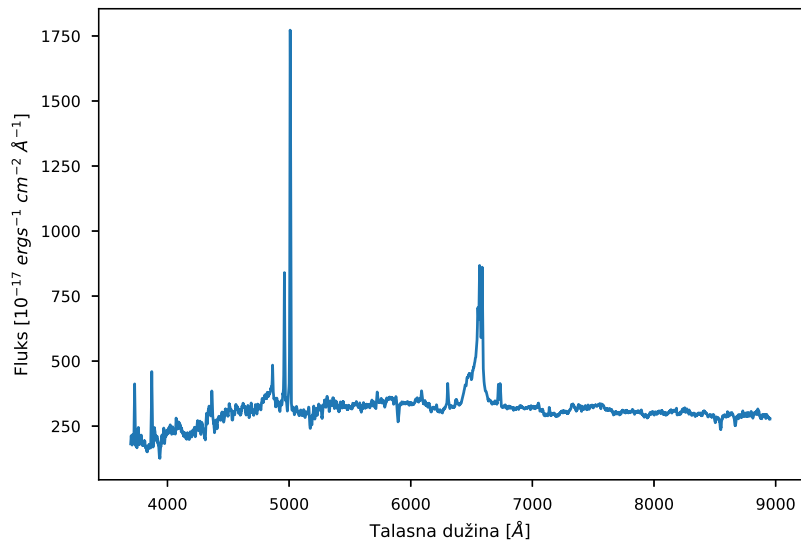
### 2.2.1 Spektri sa SDSS

Spektri za sva četiti objekta pronađeni su u bazi SDSS teleskopa. SDSS je 2.5m teleskop koji pripada opservatoriji Apache Point koja je smeštena na jugo-istoku Novog Meksika, SAD. Objekti su pretraženi u više kataloga, a potrebni spektri za ovo istraživanje pronađeni su u katalogu DR 14 (Data Release 14 - DR 14).<sup>3</sup> U Tabeli 6. dati su podaci spektara: naziv objekta, datum snimanja, broj ploče (eng. plate), broj vlakna (eng. fiber) i vreme ekspozicije. Polazeći od slike 20. do slike 23. prikazani su spektri glalaksija Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252, respektivno.

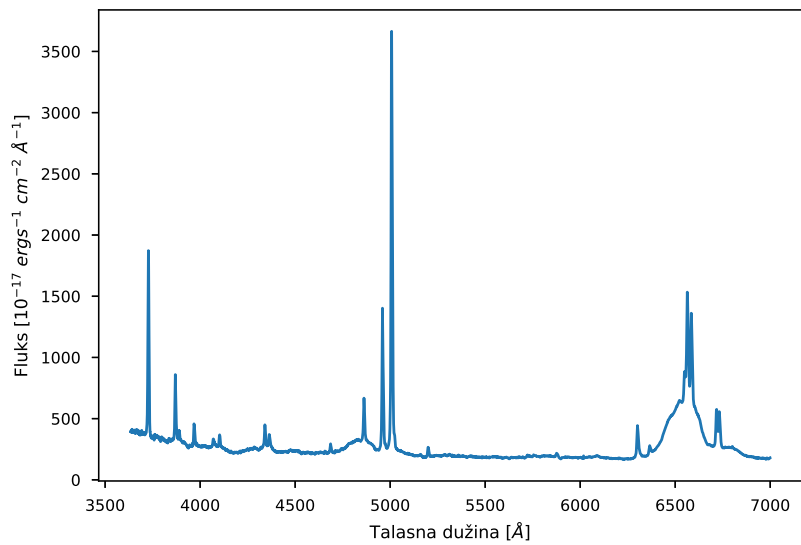
Tabela 6: Informacije o spektrima sa SDSS-a, naziv objekta, datum snimanja, broj ploče, broj vlakna i vreme ekspozicije.

Naziv objekta	Datum snimanja	Broj ploče	Broj vlakna	Ekspozicija [s]
Mrk 590	10.01.2003.	1073	132	4200
Mrk 926	15.12.2001.	725	510	3304
Mrk 1018	25.9.2000.	404	141	2700
NGC 5252	10.4.2002.	853	111	2701

<sup>3</sup> Na linku nalazi se SDSS arhivska baza spektralnih podataka. Ovde se mogu pretražiti i preuzeti spektri u željenoj formi <https://dr14.sdss.org/optical/spectrum/search>.

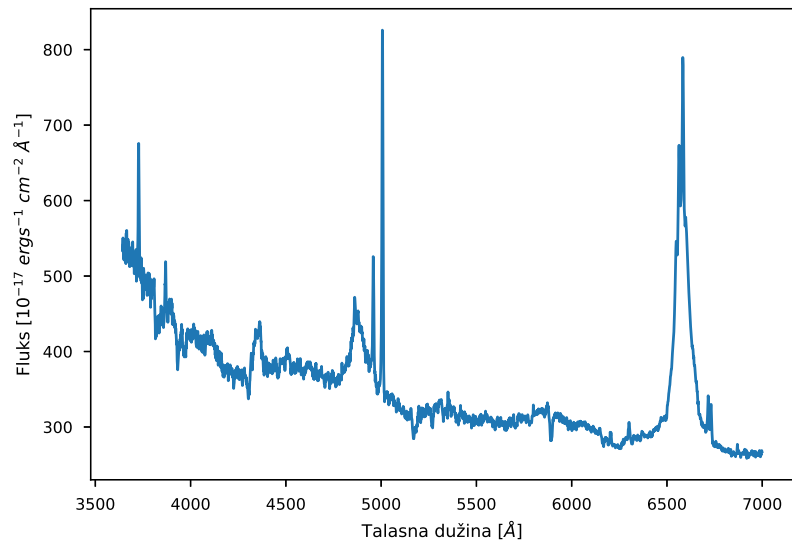


Slika 20: Optički spektar Mrk 590 sa SDSS-a. Spektar snimljen 10.01.2003.

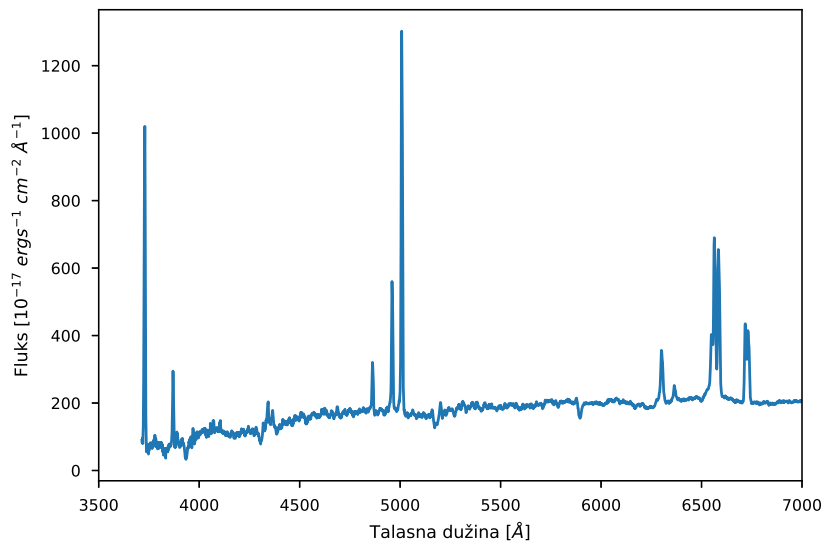


Slika 21: Optički spektar Mrk 926 sa SDSS teleskopa. Spektar snimljen 15.12.2001.





Slika 22: Optički spektar Mrk 1018 sa SDSS teleskopa. Spektar snimljen 25.9.2000.

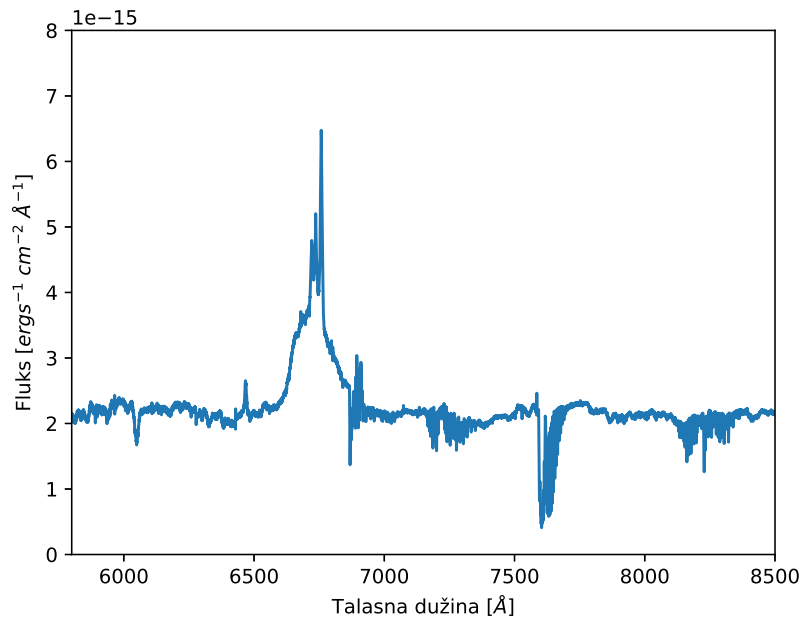


Slika 23: Optički spektar NGC 5252 sa SDSS teleskopa. Spektar snimljen 10.4.2002.

### 2.2.2 Spektri sa VLT

Spektralni podaci sa spektrografa MUSE pronađeni su samo za objekat Mrk 590. MUSE je instrument druge generacije postavljen na VLT koji pripada Evropskoj južnoj opservatoriji (European Southern Observatory - ESO) i nalazi se na planini Cerro Paranal u pustinji Atakama na severu Čilea. Teleskop VLT ima primarno ogledalo od 2.6 metara. MUSE je panoramski spektrograf sa integralnim poljem koji radi u vidljivom opsegu talasnih dužina. Kombinuje široko vidno polje

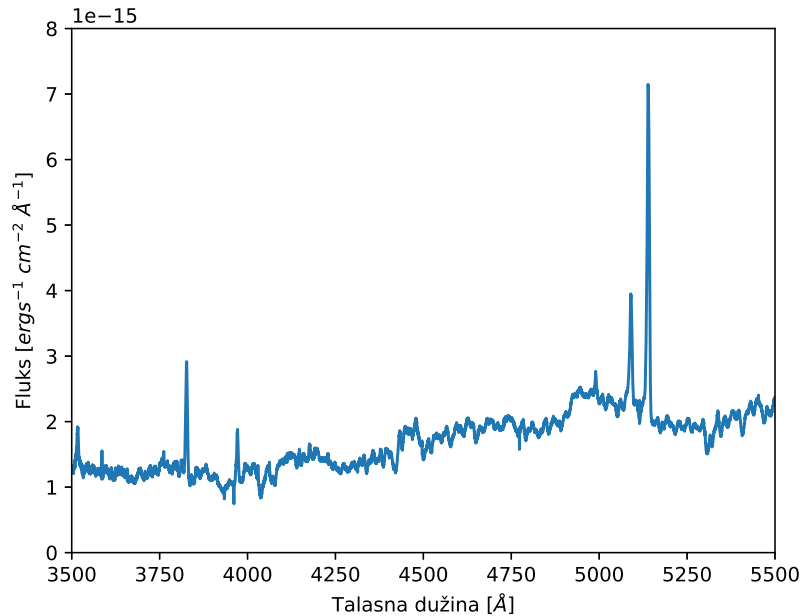
sa poboljšanom prostornom rezolucijom koju pruža adaptivna optika i pokriva veliki istovremeni spektralni opseg. Pretražena je elektronska ESO arhiva <sup>4</sup> kriterijumi da su spektri kalibrisani i da su u vidljivom opsegu talasnih dužina za sva četiri objekta. Odgovarajući spektri za ovo istraživanje pronađeni su samo za objekat Mrk 590. Na slikama 24. i 25. dat je prikaz MUSE spektara u  $H\alpha$  i  $H\beta$  oblasti. Spektri su snimljeni 02. februara 2018. godine, vreme ekspozicije spektra na slici 24. gde je prikazana  $H\alpha$  oblast je 1528 sekundi, a vreme ekspozicije spektra u  $H\beta$  oblasti je 1626 sekundi na slici 25.



Slika 24: Optički spektar Mrk 590 sa MUSE spektrografa u  $H\alpha$  oblasti. Spektar snimljen 02.02.2018.

---

<sup>4</sup> Pretraga podataka ESO arhive [http://archive.eso.org/eso/eso\\_archive\\_main.html](http://archive.eso.org/eso/eso_archive_main.html) i <http://archive.eso.org/scienceportal/home>.

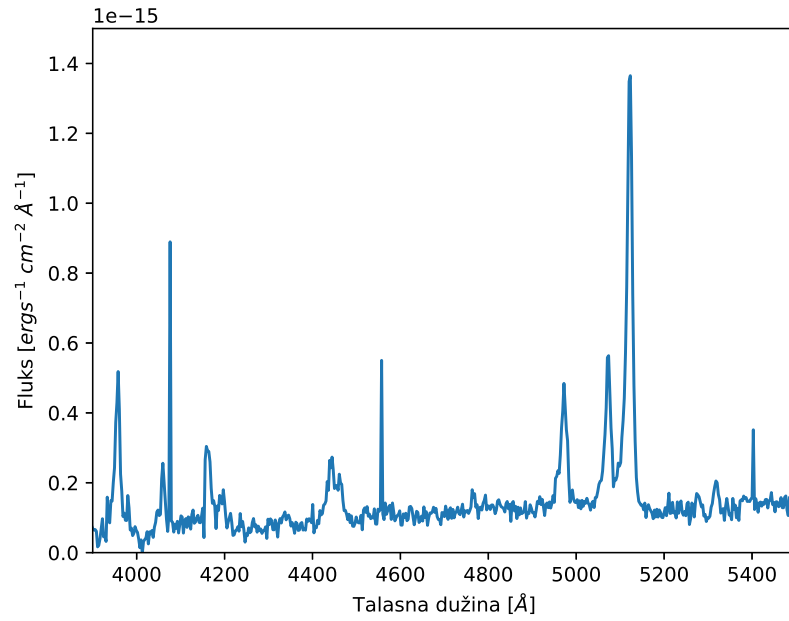


Slika 25: Optički spektar Mrk 590 sa MUSE spektrografa u  $H\beta$  oblasti. Spektar snimljen 02.02.2018.

### 2.2.3 Spektri sa HST

Korisni spektar sa teleskopa HST pronađen je samo objekat NGC 5252. Habi teleskop ima primarno ogledalo od 2.4m i nalazi se u orbiti Zemlje. Spektre za ovo istraživanje pretražila sam na bazi MAST (Mikulski Archive for Space Telescopes - MAST). MAST je astronomska arhiva podataka. Arhiva objedinjuje podatke iz vidljivog, ultraljubičastog i blisko infracrvenog talasnog ospega. Projekat koji finansira NASA smešten je u Naučnom institutu za svemirski teleskop (Space Telescope Science Institute - STScI) u Baltimoru u državi Merilend i jedna je od najvećih astronomskih baza podataka na svetu. Na teleskopu HST instaliran je spektrograf STIS (The Space Telescope Imaging Spectrograph - STIS). STIS je spektrograf koji pruža snimanje u opsegu od 1150 do 10300 Å, pri niskim do srednjim vrednostima spektralne rezolucije u zavisnosti od opsega i namene snimanja. Sa baze MAST<sup>5</sup> preuzeti su spektri samo objekta NGC 5252, za druge objekte nisu pronađeni adekvatni spektri. Snimak spektra NGC 5252 snimljen je 26. januara 1999. sa ekspozicijom od 600 sekundi. Spektar u  $H\alpha$  oblasti je preeksponiran sa ekspozicijom od 1080 sekundi tako da ovaj spektar nije mogao da se uzme za analizu. Na slici 26. prikazan je spektar NGC 5252 sa STIS-a u  $H\beta$  oblasti.

<sup>5</sup>Pretraga MAST astronomske baze podataka <https://mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html>.



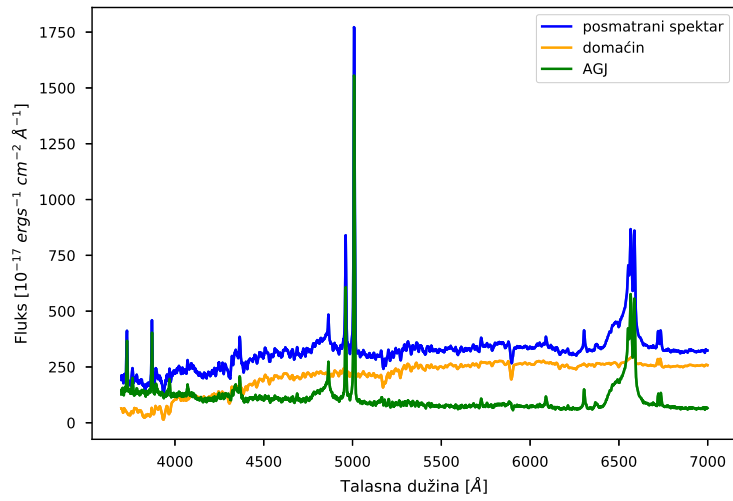
Slika 26: Optički spektar NGC 5252 sa STIS spektrografa u H $\beta$  oblasti. Spektar snimljen 27.01.1999.

### 3 Analiza spektara i rezultati

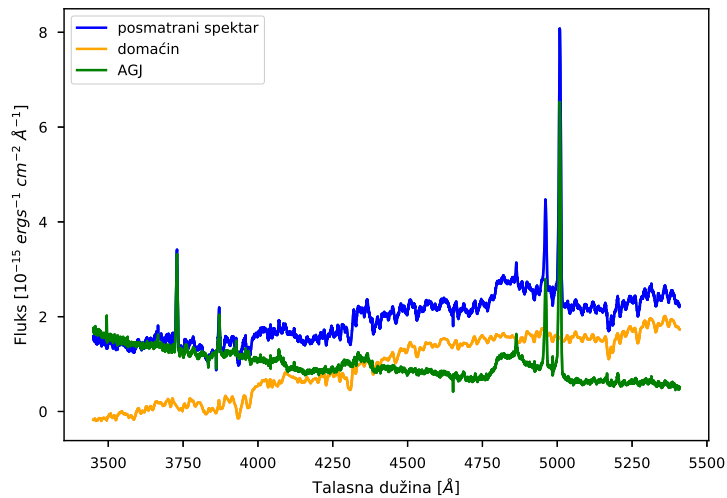
U ovom poglavlju dat je opis analize novih obrađenih spektara i prikupljenih arhivskih spektara. Prikazan je postupak dekomponovanja spektara, sa ukupnog posmatranog spektra galaksije razdvojeni su spektri galaksije domaćina i AGJ. Zatim modelovanje spektara fitovanjem spektralnih linija sa jednim ili više Gausijan profila. Za ovu analizu korišćen je kod *FANTASY* pisan u python-u koji je razvio Rakić (2020). Prilikom ove analize ujedno je testiran kod *FANTASY* što je doprinelo razvoju i usavršavanju istog.

#### 3.1 Oduzimanje zračenja galaksije domaćina

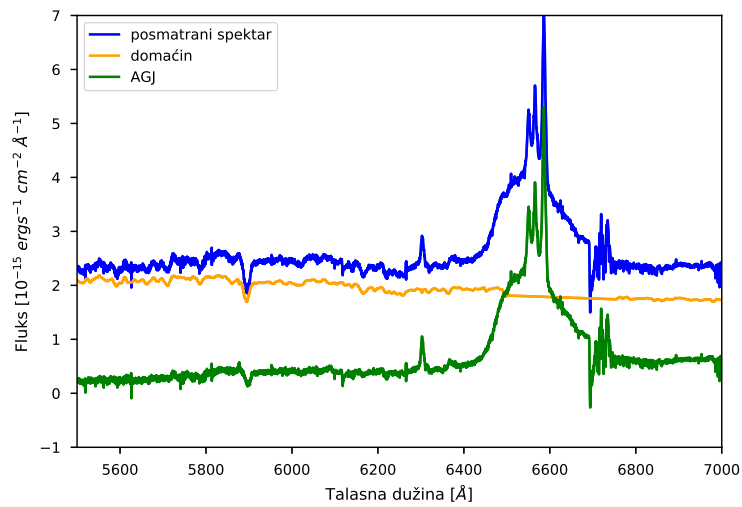
Kako bismo izdvojili profile širokih linija svih objekata prvo je bilo neophodno oduzeti spektar galaksije domaćina. Galaksija domaćin je galaksija koja u centru sadrži AGJ. Kako bi se odredio uticaj zračenja galaksije domaćina maskirani tj. sakriveni su široki emisioni regioni i na to je primenjena statistika metoda. Tehnika razlaganja koristi odvojene skupove sopstvenih spektara galaksije i kvazara za efikasno i pouzdano razdvajanje AGJ i spektroskopskih komponenti domaćina. Tehnika tačno reprodukuje spektar galaksije domaćina, njen udeo koji doprinosi. Za ovaj postupak razdvajanja galaksije domaćina od AGJ u *FANTASY* kodu korišćena je analiza glavnih komponenti (principal component analysis-PCA) to je statistika metoda koja je opisana u radu (Vanden Berk et al., 2006). PCA metoda koristi sopstvene spektre AGJ i galaksija čijom linearnom kombinacijom može da se reprodukuje posmatrani spektar. Na slikama od 27. do 39. prikazano je razlaganje posmatranog spektra na komponente - galaksiju domaćina i AGJ. Na svim slikama originalni spektar je plave boje, komponenta galaksije domaćina je narandžaste, a komponenta AGJ je zelene boje.



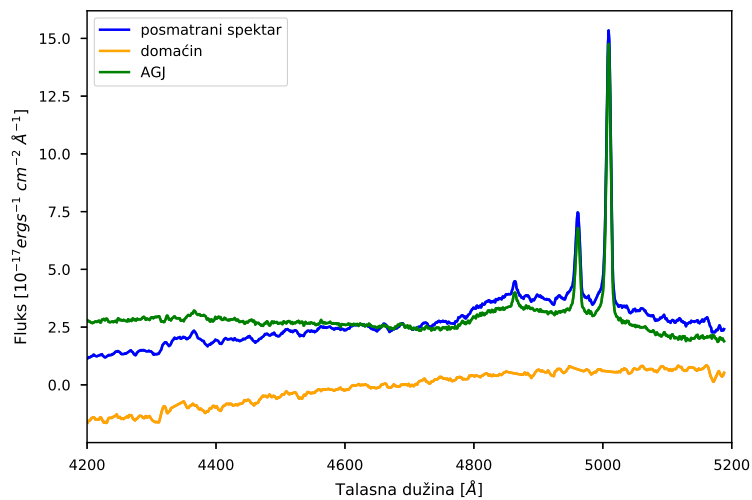
Slika 27: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 590 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa SDSS-a snimljen 10.01.2003.



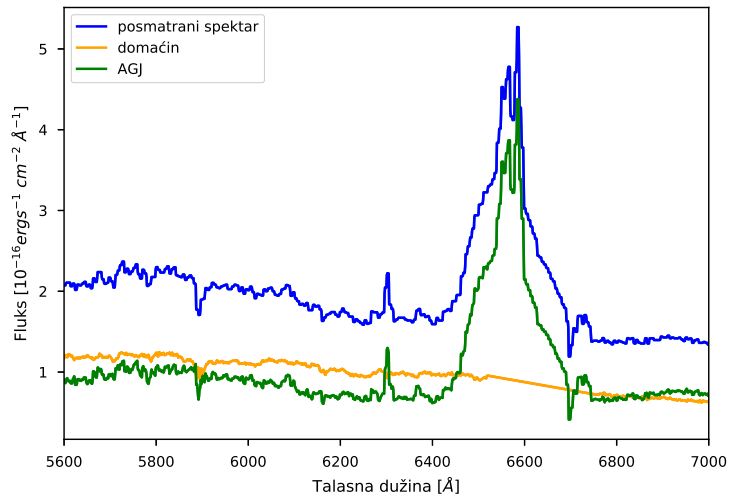
Slika 28: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 590 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa VLT-a u H $\beta$  oblasti snimljen 02.02.2018.



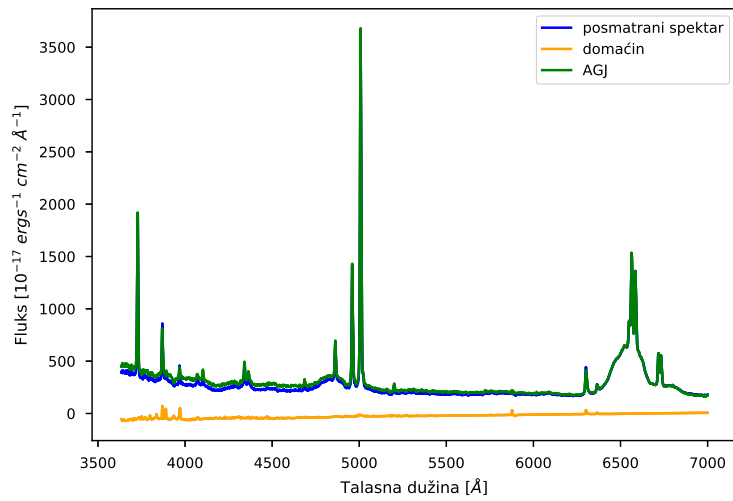
Slika 29: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 590 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zelena linija). Spektar sa VLT-a u  $H\alpha$  oblasti snimljen 02.02.2018.



Slika 30: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 590 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zelena linija). Spektar sa WHT-a u  $H\beta$  oblasti snimljen 01.8.2019.

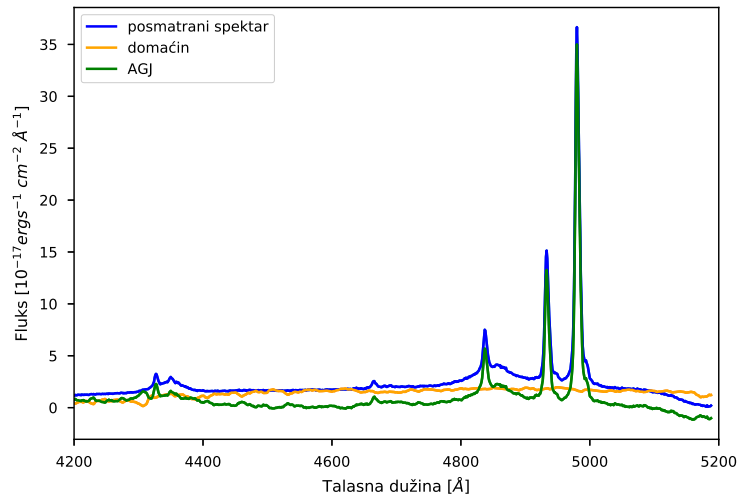


Slika 31: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 590 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa WHT-a u  $H\alpha$  oblasti snimljen 01.8.2019.

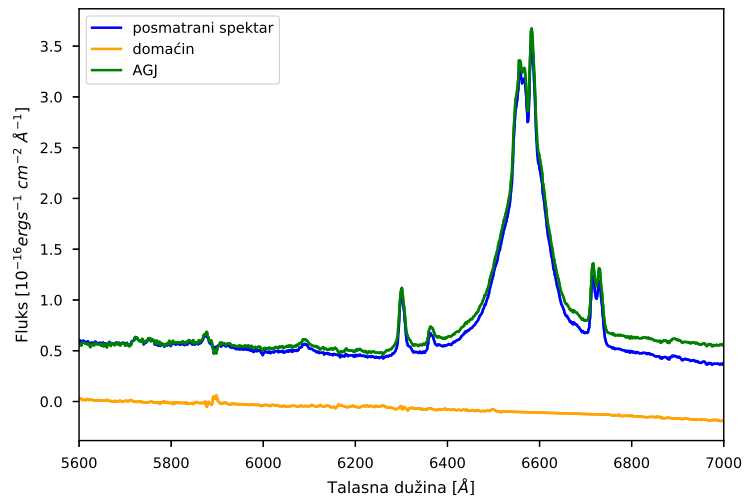


Slika 32: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 926 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa SDSS-a snimljen 15.12.2001.

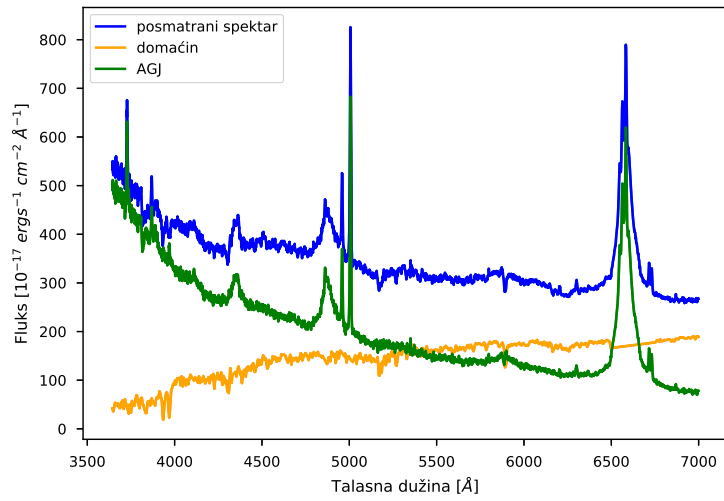




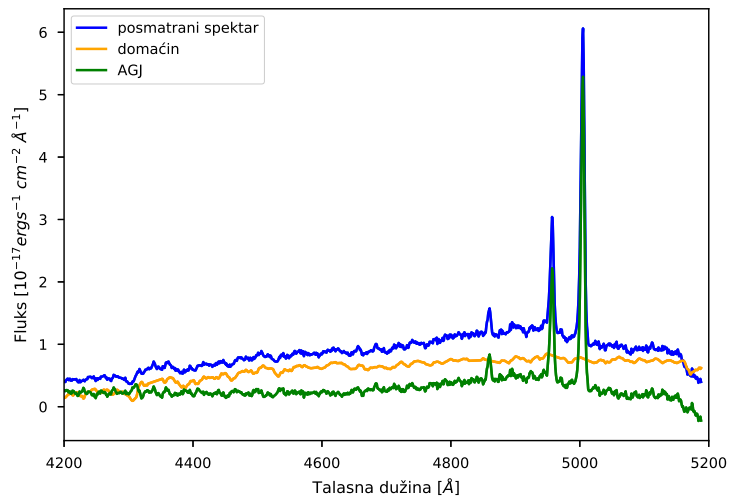
Slika 33: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 926 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa WHT-a u  $H\beta$  oblasti snimljen 01.8.2019.



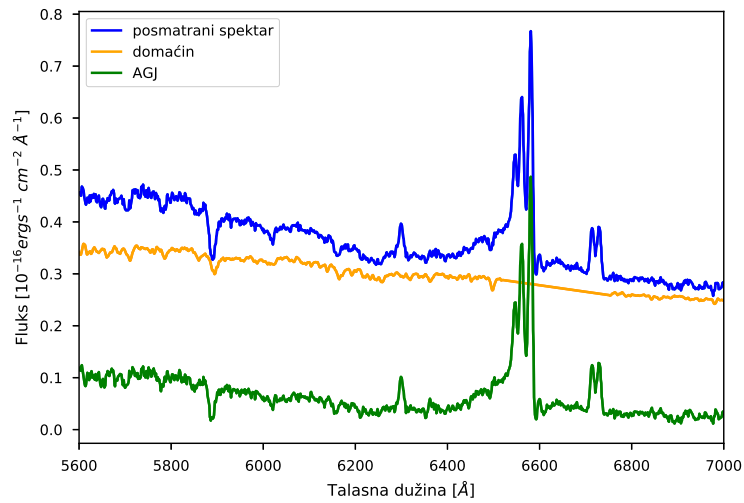
Slika 34: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 926 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa WHT-a u  $H\alpha$  oblasti snimljen 01.8.2019.



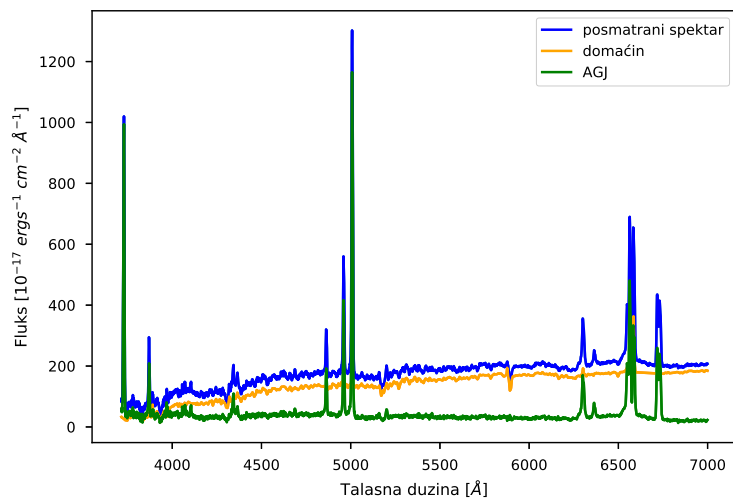
Slika 35: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 1018 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa SDSS-a snimljen 25.9.2000.



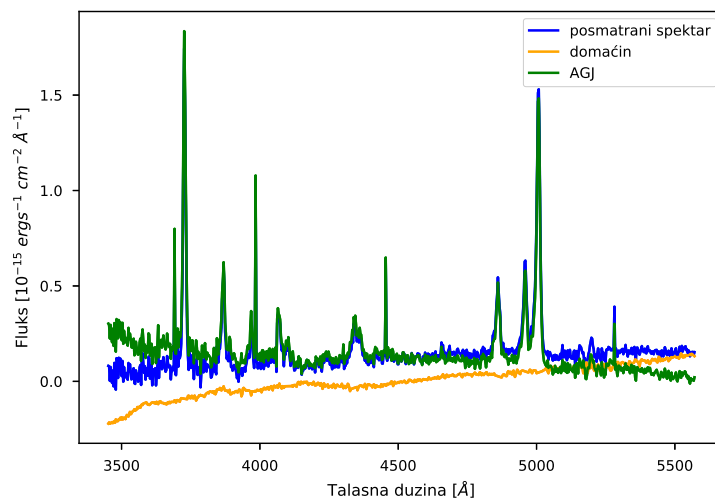
Slika 36: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 1018 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa WHT-a u H $\beta$  oblasti snimljen 01.8.2019.



Slika 37: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) Mrk 1018 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa WHT-a u H $\alpha$  oblasti snimljen 01.8.2019.



Slika 38: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) NGC 5252 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zeleno linija). Spektar sa SDSS-a snimljen 10.4.2002.



Slika 39: Razdvajanje posmatranog spektra (plava linija) NGC 5252 na galaksiju domaćina (narandžasta linija) i spektar AGJ (zelena linija). Spektar sa HST-a u  $H\beta$  oblasti snimljen 27.01.1999.

### 3.2 Fitovanje i modelovanje spektara

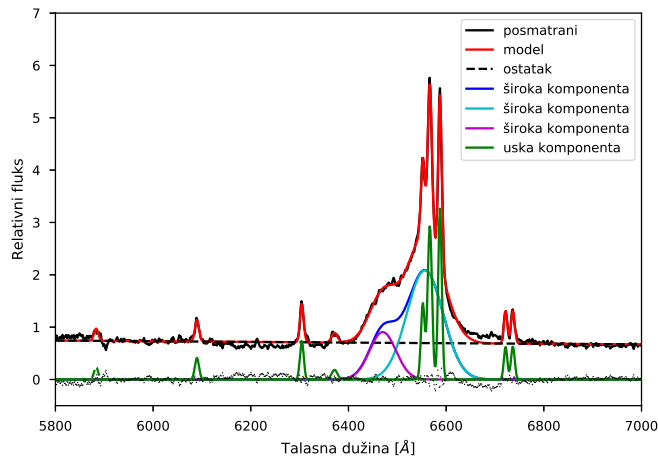
Nakon oduzimanja zračenja galaksije domaćina sledi modelovanje spektara fitovanjem spektralnih linija sa jednim ili više Gausovih profila. Emisione linije mogu se fitovati Lorenc i Gaus profilima, mi smo izabrali Gaus profile jer nam direktno ukazuju na kinematiku i geometriju sredine iz koje potiče linija. Profili linija su kompleksni i imaju asimetriju zato se fituju sa više Gausovih profila, a to ukazuje da je emisijski region kompleksan i da različiti delovi linije dolaze iz različitih sredina. Kod FANTASY istovremeno fituje kontinuum i emisione linije koristeći python paket Sherpa (Burke et al., 2020). Fitovanje linija Gausovim profilom zahteva podešavanje parametara za svaki spektar posebno. Sve linije su definisane Gausovim profilom

$$G(x) = \frac{I}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_c-o)^2}{2\sigma^2}}$$

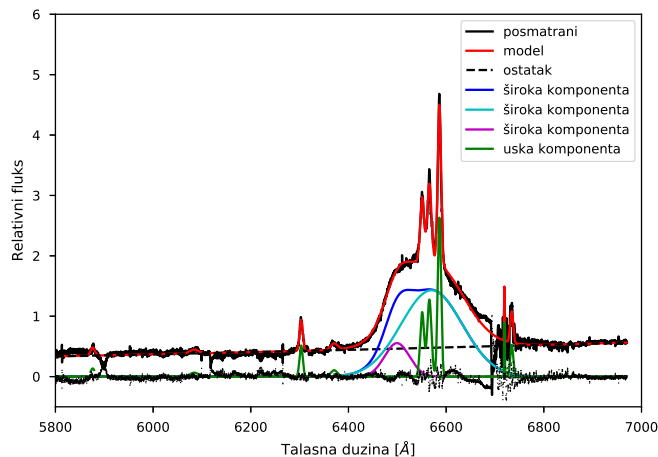
gde je  $I$  amplituda linije,  $x_c$  je pozicioniranje linije, ovaj parametar je fiksiran za zadatu vrednost,  $o$  je parametar koji se koriguje prilikom fitovanja, širina linije koja se definiše  $\text{FWHM} = 2.335\sigma$ . Parametri pozicioniranja linije su fiksirani, a menjaju se ostali parametri, a nekad se mogu i svi fiksirati.

U modelu su uključene komponente širokih i uskih linija, u zavisnosti od složenosti profila spektralne linije zavisi da li će biti jedna ili više Gausijan profila koji je definišu. Višekomponentno fitovanje profila linija prikazano je na slikama od 40. do 55. pojedinačno za oblasti  $H\alpha$  i  $H\beta$ . Za potrebe fitovanja korišćen je relativan fluks, dobijen deljenjem stvarnog fluksa i greške sa 100, kako bi se lakše podešavali parametri fita, što ne menja dalju analizu spektara. U modelovanju spektra isključene su linije gvožđa. Na svim slikama posmatran spektar je crn, modelovan je crven, ostatak je crna isprekidana linija, ukupna široka komponenta  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija je plava, a tirkizna, ljubičasta i žuta predstavljaju pojedinačne široke

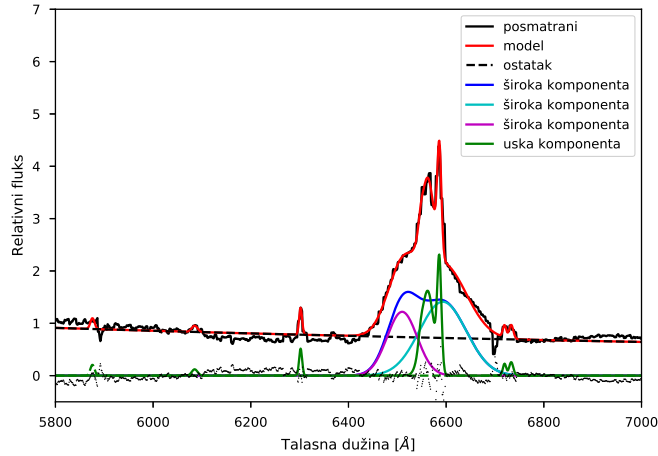
komponente plave, zelena je uska komponenta svih linija i narandžasta je široka komponenta drugih linija isključujući  $H\alpha$  i  $H\beta$  linije.



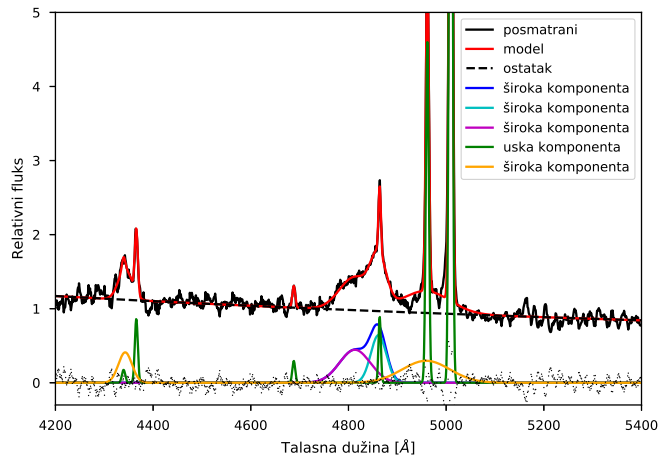
Slika 40: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta Mrk 590 u  $H\alpha$  oblasti, snimljenog 2003. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\alpha$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom.



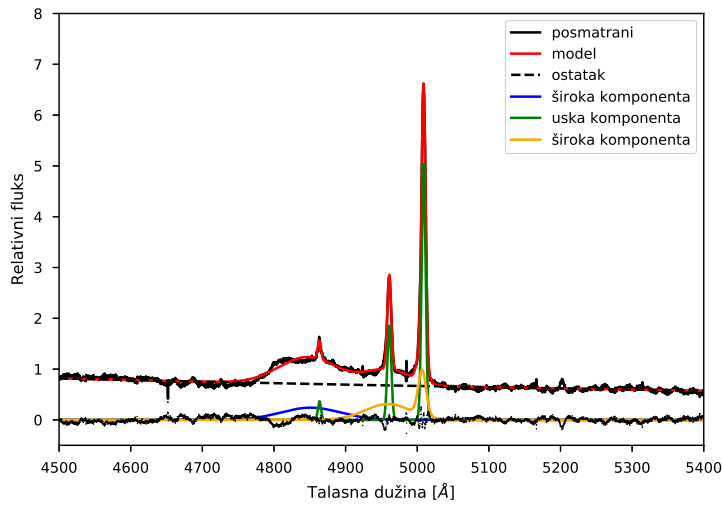
Slika 41: Višekomponentno fitovanje VLT spektra objekta Mrk 590 u  $H\alpha$  oblasti, snimljenog 2018. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\alpha$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom.



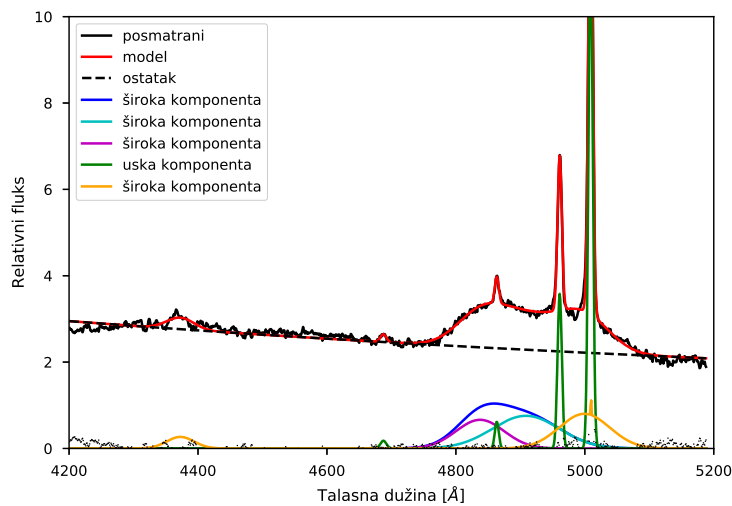
Slika 42: Višekomponentno fitovanje WHT spektra objekta Mrk 590 u  $H\alpha$  oblasti, snimljenog 2019. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označeni na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\alpha$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom.



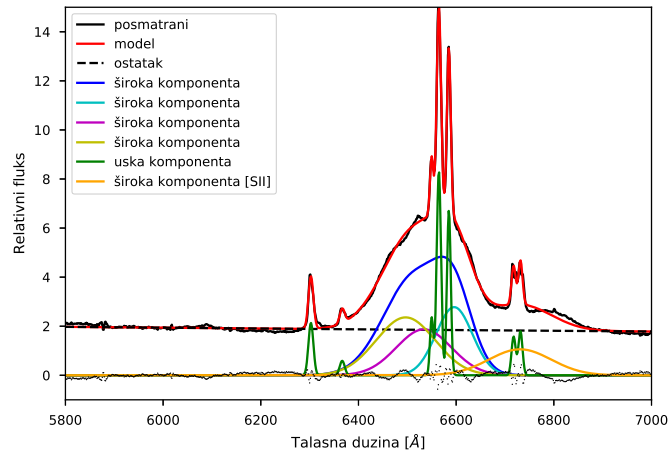
Slika 43: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta Mrk 590 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2003. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označeni na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\beta$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta [OIII] linija i  $H\gamma$  linije.



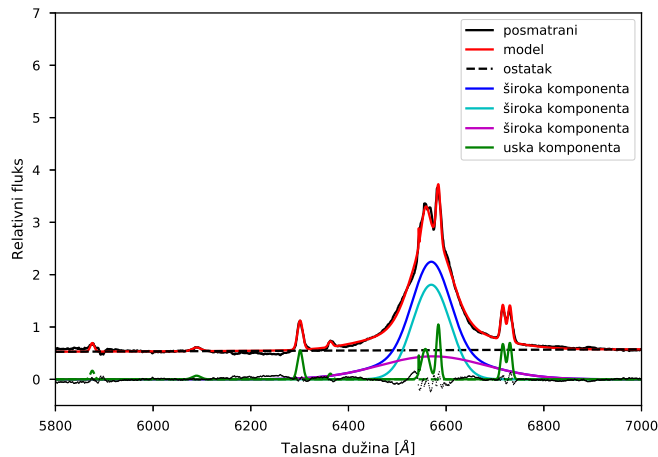
Slika 44: Višekomponentno fitovanje VLT spektra objekta Mrk 590 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2018. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava široku komponentu  $H\beta$  linije; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta  $[OIII]$  linija.



Slika 45: Višekomponentno fitovanje WHT spektra objekta Mrk 590 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2019. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava široku komponentu  $H\beta$  linije; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta  $H\gamma$  i  $[OIII]$  linije.

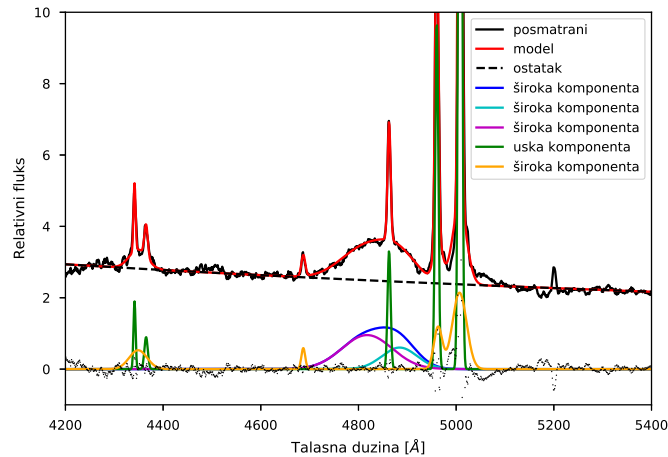


Slika 46: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta Mrk 926 u  $H\alpha$  oblasti, snimljenog 2001. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\alpha$  linije, a tirkizna, ljubičasta i žuta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta [SII].

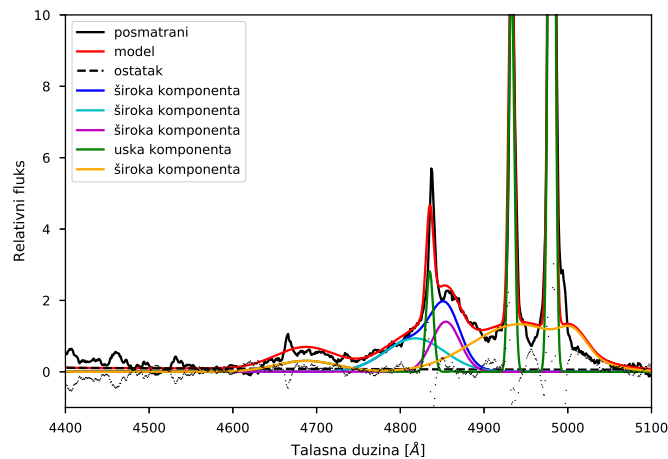


Slika 47: Višekomponentno fitovanje WHT spektra objekta Mrk 926 u  $H\alpha$  oblasti, snimljenog 2019. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\alpha$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom.

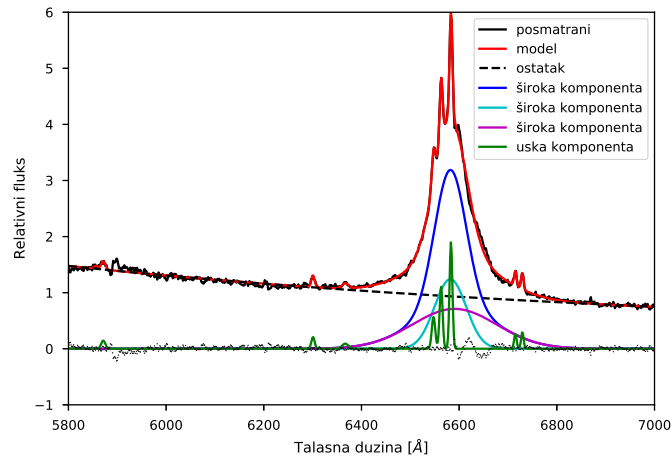




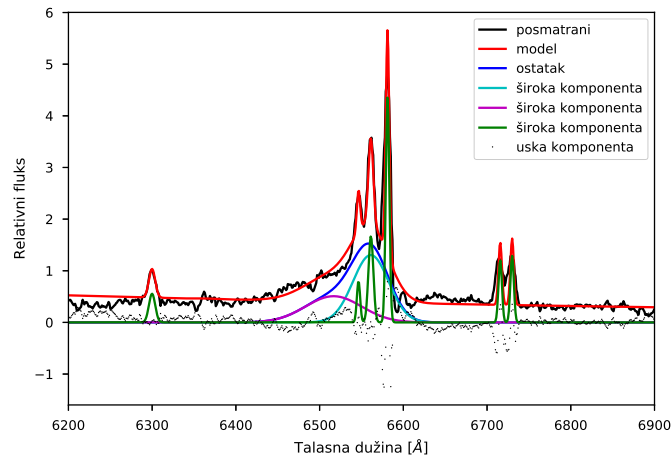
Slika 48: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta Mrk 926 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2001. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\beta$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta [OIII] i  $H\gamma$



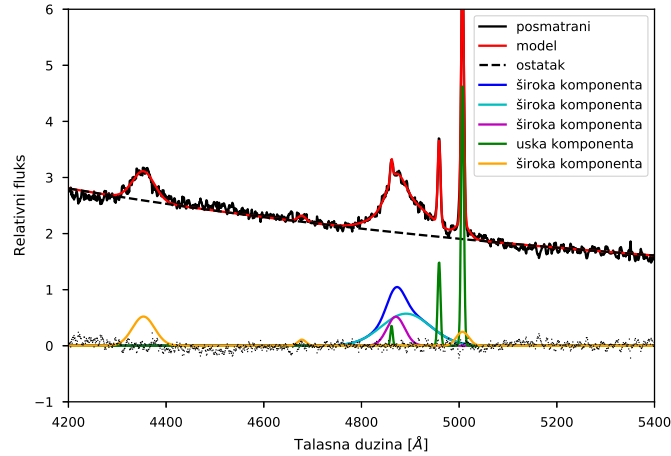
Slika 49: Višekomponentno fitovanje WHT spektra objekta Mrk 926 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2019. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava široku komponentu  $H\beta$  linije; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta [OIII] linija.



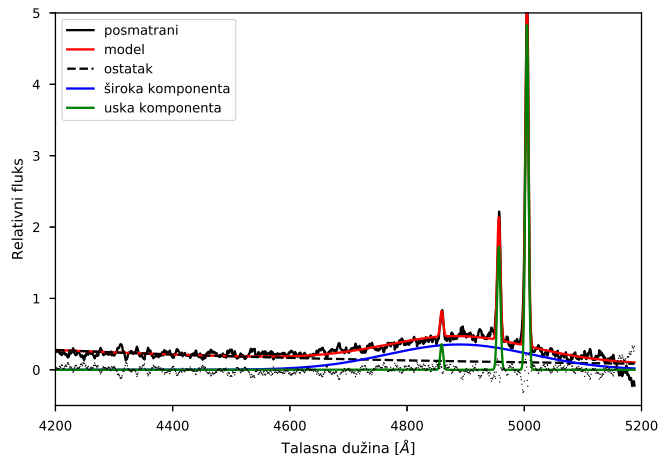
Slika 50: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta Mrk 1018 u H $\alpha$  oblasti, snimljenog 2000. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu H $\alpha$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom



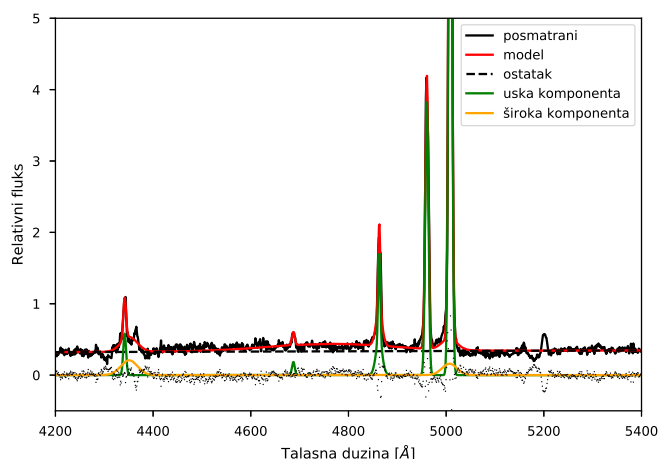
Slika 51: Višekomponentno fitovanje WHT spektra objekta Mrk 1018 u H $\alpha$  oblasti, snimljenog 2019. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu H $\alpha$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom



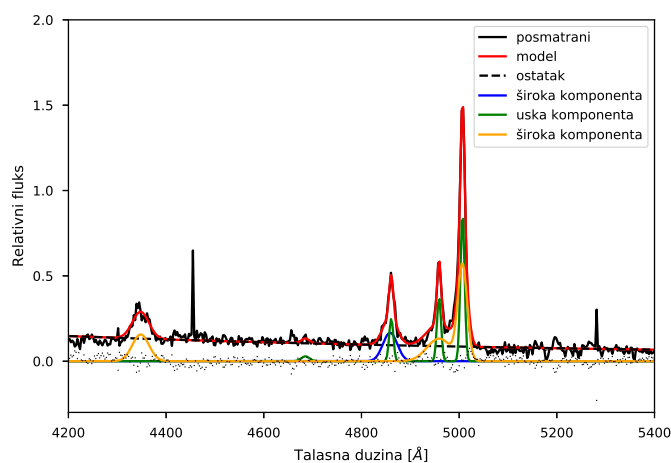
Slika 52: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta Mrk 1018 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2000. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava ukupnu široku komponentu  $H\beta$  linije, a tirkizna i ljubičasta su pojedinačne široke komponente; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta [OIII] i  $H\gamma$  linija



Slika 53: Višekomponentno fitovanje WHT spektra objekta Mrk 1018 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2019. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plava boja obeležava široku komponentu  $H\beta$  linije; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom



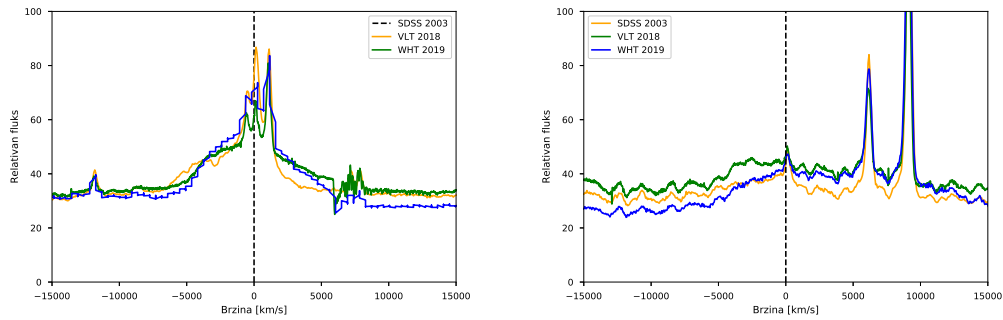
Slika 54: Višekomponentno fitovanje SDSS spektra objekta NGC 5252 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 2002. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta



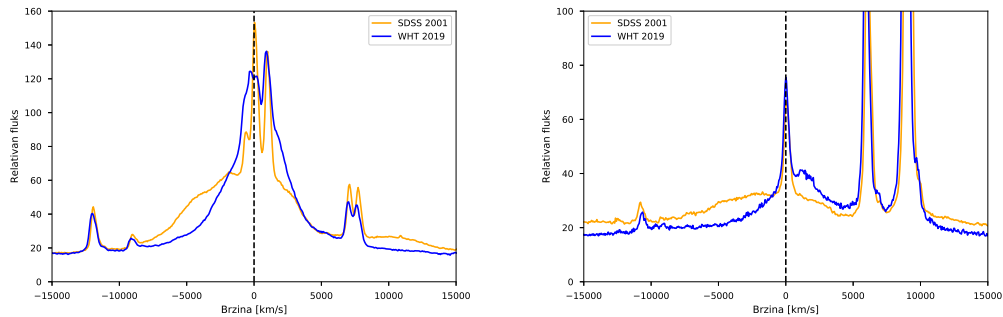
Slika 55: Višekomponentno fitovanje HST spektra objekta NGC 5252 u  $H\beta$  oblasti, snimljenog 1999. godine. Crna boja označava posmatran spektar, crvena modelovan, a njihova razlika (ostatak) obeležen je crnom isprekidanom linijom. Gausijani su označene na sledeći način: plavom bojom obeležena je široka komponenta  $H\beta$  linije; uske i satelitske linije su obeležene zelenom bojom; narandžastom je obeležena široka komponenta

### 3.3 Merenje parametara spektralnih linija

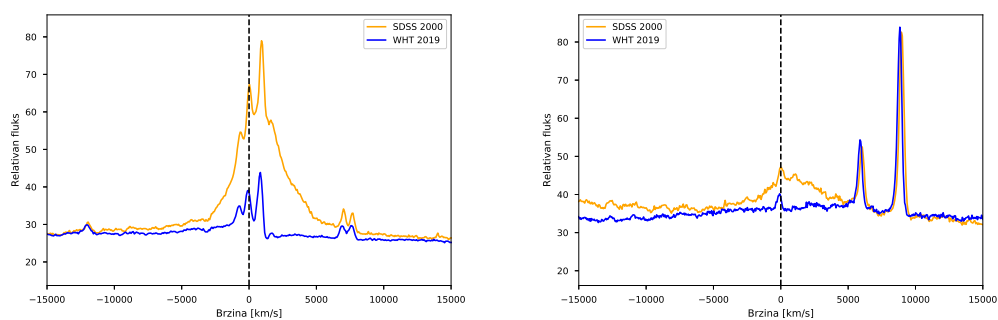
Kod ekstremno promenljivih AGJ promena širine i oblik linije dešava se na kratkim vremenskim skalama (od jedne godine do nekoliko decenija). Radi potrebe poređenja profila i detekcije promene u njima neophodno je linije kalibrisati na [OIII] linije (Shapovalova et al., 2010) čiji fluks se ne menja vidi poglavlje (2.1.4). U slučaju  $H\alpha$  linije kalibracija je urađena na usku [OIII] 6300 Å liniju, a u slučaju  $H\beta$  linije kalibracija je urađena na uske [OIII] 5007 i 4959 Å. Do sada sve pomenute spektre objekata predstavljamo pojedinačno u  $H\alpha$  i  $H\beta$  oblast kako se menjaju tokom vremena. Na slikama od 56. do 59. prikazani su spektri za sva četiri AGJ u skalama brzine.



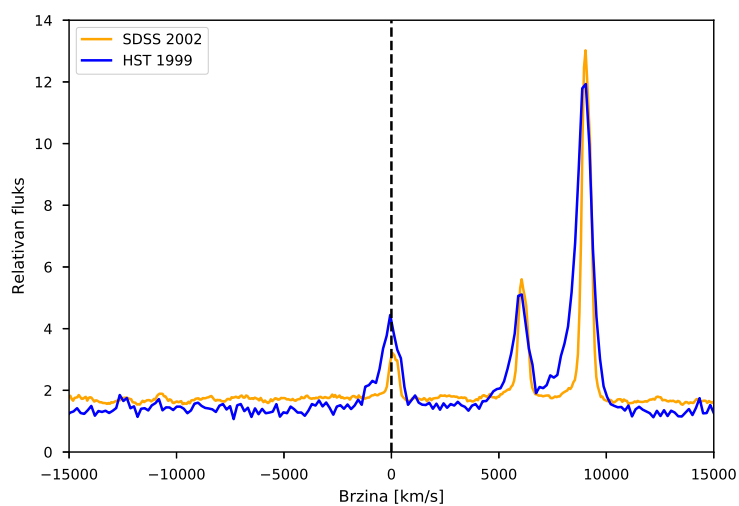
Slika 56: Spektar Mrk 590 na skali brzine. Na levoj strani prikazan je  $H\alpha$ , a na desnoj strani  $H\beta$  profil linije. SDSS spektar (narandžasta linija) snimljen 2003., WHT spektar (plava linija) iz 2019. i VLT spektar (zelena linija) iz 2018.



Slika 57: Spektar Mrk 926 na skali brzine. Na levoj strani prikazan je  $H\alpha$ , a na desnoj strani  $H\beta$  profil linije. SDSS spektar (narandžasta linija) snimljen 2001. i WHT spektar (plava linija) iz 2019.

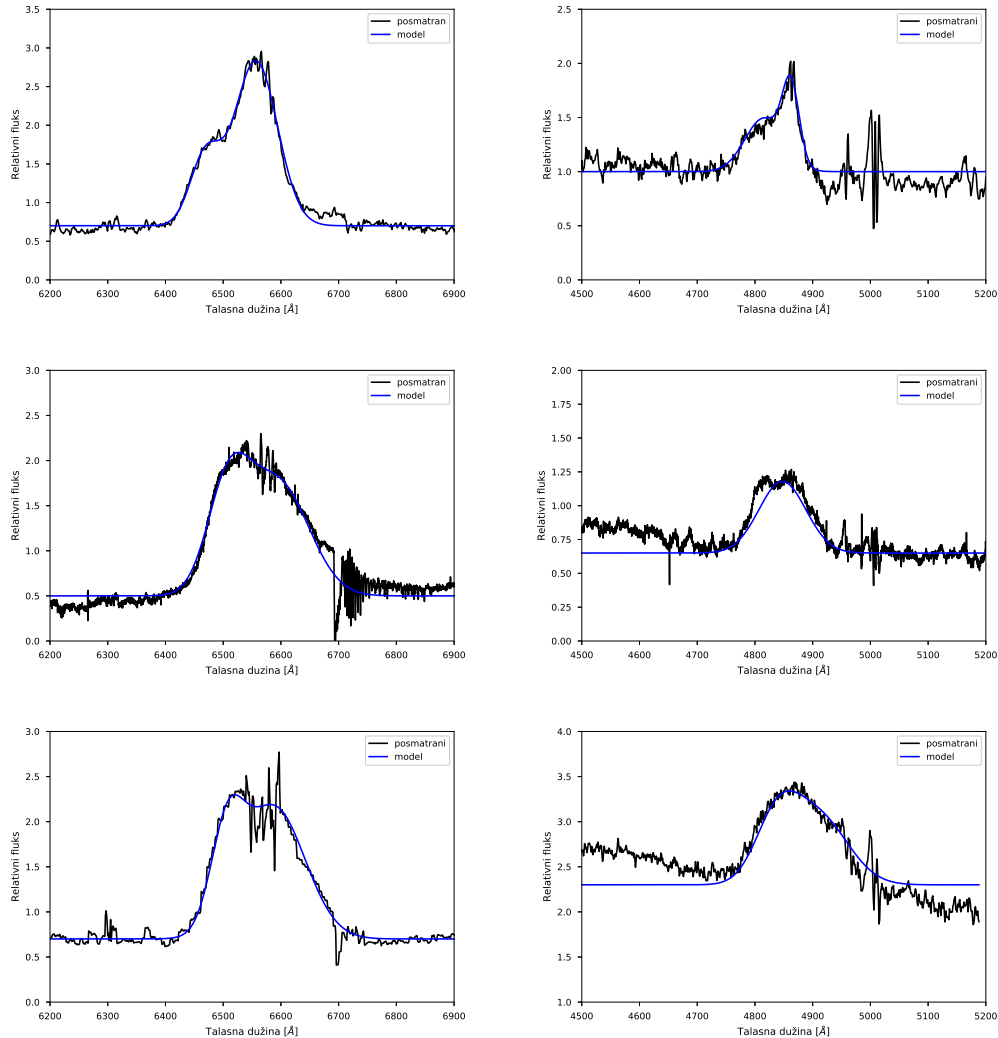


Slika 58: Spektar Mrk 1018 na skali brzine. Na levoj strani prikazan je  $H\alpha$ , a na desnoj strani  $H\beta$  profil linije. SDSS spektar (narandžasta linija) snimljen 2000. i WHT spektar (plava linija) iz 2019.

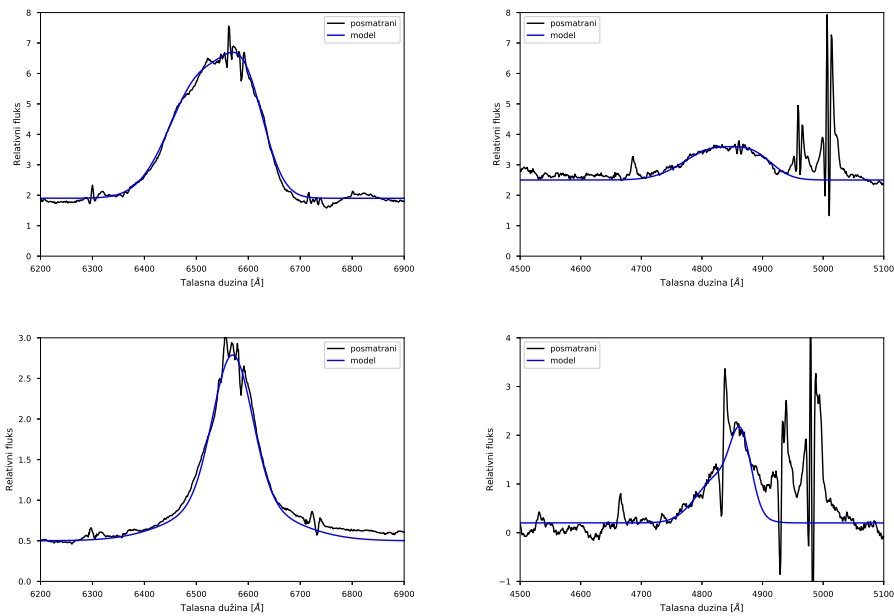


Slika 59: Spektar NGC 5252 na skali brzine. SDSS spektar (narandžasta linija) snimljen 2002. i HST spektar (plava linija) iz 1999.

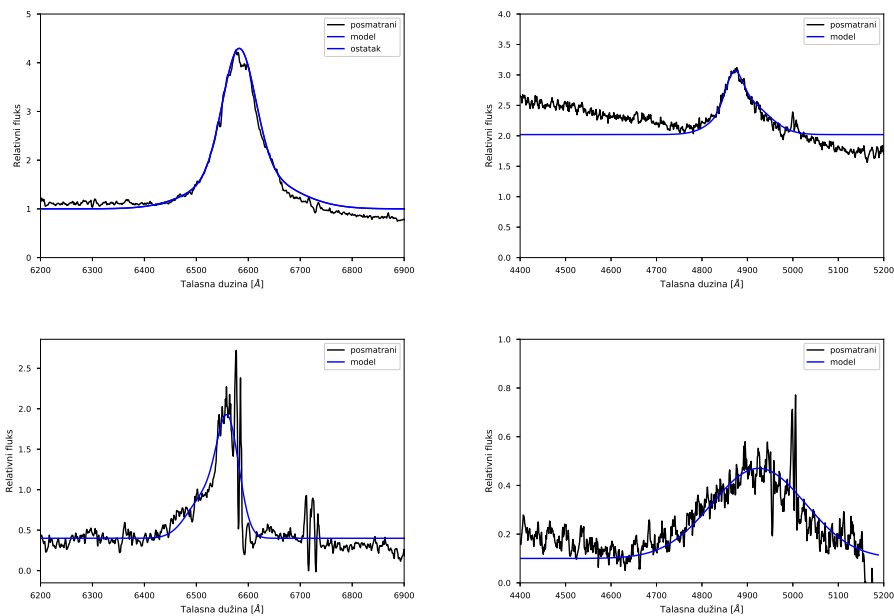
Promene profila  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija tokom vremena mogu se videti na Slikama 60, 61, i 62, za AGJ Mrk 590, Mrk 926. Mrk 1018, respektivno. Prikazane su samo široke komponentne profila linija.



Slika 60: Široke komponente  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija Mrk 590. Gornja dva spektra su iz 2003., srednja dva spektra su iz 2018, a donja dva spektra iz 2019. Na levoj strani su prikazani  $H\alpha$ , a na desnoj strani  $H\beta$  profili linija. Crnom bojom su prikazani posmatrani spektri, a plavom modelovani spektri.



Slika 61: Široke komponente  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija Mrk 926. Gornja dva spektra su iz 2001., a donja dva spektra iz 2019. Na levoj strani su prikazani  $H\alpha$ , a na desnoj strani  $H\beta$  profili linija. Crnom bojom su prikazani posmatrani spektri, a plavom modelovani spektri.



Slika 62: Široke komponente Mrk 1018  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija. Gornja dva spektra su iz 2000., a donja dva spektra iz 2019. Na levoj strani su prikazani  $H\alpha$ , a na desnoj strani  $H\beta$  profili linija. Crnom bojom su prikazani posmatrani spektri, a plavom modelovani spektri.



Široke komponente  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija snimljene iste godine imaju isti oblik profila, ali različitog su intenziteta što se može videti na slikama iznad (Slike 60, 61 i 62). Jedino na spektru široke komponente  $H\alpha$  linije, Mrk 1018 sa WHT iz 2019., vidi se B band apsorpcija tako da se oblik profila ne popudara sa profilom u  $H\beta$  liniji.

Merenje širine i asimetrije  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija na polovini i na 20% maksimalnog intenziteta. Asimetrija ili pomak linije,  $\Delta z$ , definiše se kao  $\Delta z = z_{50} - z_{I_{max}}$ , gde je  $z_{50}$  pomeraj vrha široke linije na 50% maksimalnog intenziteta, a  $z_{I_{max}}$  je pomeraj vrha široke linije tj. maksimum intenziteta linije u odnosu na centralnu talasnu dužinu. Ovo isto važi i za 20% maksimalnog intenziteta samo se uzimaju vrednosti na 20%. Može se meriti na različitim nivoima intenziteta. Izabrali smo da merimo FWHM i na 20% maksimalnog intenziteta kako bismo odredili brzinu kretanja gasa u krilima profila. Detaljan postupak merenja opisan u radu Jonić et al. (2016) gde su zaključili da iz crvenog pomaka može da se proceni masa crne rupe. U tabeli 7. i 8. prikazane su vrednosti FWHM, FW20%M,  $\Delta z_{50}$  i  $\Delta z_{20}$  za  $H\alpha$  i  $H\beta$ , respektivno.

Tabela 7: Širina i pomeraj široke komponente  $H\alpha$  na polovini i na 20% maksimalnog intenziteta.

Naziv	Teleskop	Datum	FWHM [km/s]	FW20%M [km/s]	$\Delta z_{50}$ [km/s]	$\Delta z_{20}$ [km/s]
Mrk 590	SDSS	10.01.2003.	5713	8457	-370	-1622
	VLT	02.02.2018.	7951	10798	1457	2650
	WHT	01.08.2019.	7584	9975	1051	2581
Mrk 926	SDSS	15.12.2001.	8040	11257	-1416	-2833
	WHT	01.8.2019.	4562	7939	274	411
Mrk 1018	SDSS	25.9.2000.	3935	6906	81	137
	WHT	01.8.2019.	2743	5257	-69	-2878

Tabela 8: Širina i pomeraaj široke komponente  $H\beta$  na polovini i na 20% maksimalnog intenziteta.

Naziv	Teleskop	Datum	FWHM [km/s]	FW20%M [km/s]	$\Delta z_{50}$ [km/s]	$\Delta z_{20}$ [km/s]
Mrk 590	SDSS	10.01.2003.	4950	7477	-1418	-2837
	VLT	02.02.2018.	6009	9151	-	-
	WHT	01.08.2019.	9316	13142	2405	3947
Mrk 926	SDSS	15.12.2001.	9100	12535	-	-
	WHT	01.8.2019.	3708	6983	-925	-2344
Mrk 1018	SDSS	25.9.2000.	4493	8728	863	2405
	WHT	01.8.2019.	14795	22991	-19	-825

Nema asimetričnosti  $H\beta$  linije kod modelovanog spektra Mrk 590 sa VLT i kod Mrk 926 sa SDSS, Gusijan je simetričan.

## 4 Diskusija

Iz analize spektara ekstremno promenljivih aktivnih galaskija Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252 zaključilo je da su promene u linijama vidljive i posle samo godinu dana. Pri fitovanju  $H\beta$  i  $H\alpha$  linija u većem broju slučaja bilo je potrebno koristiti više Gausovih profila što ukazuje na složene fizičke procese koji se dešavaju. Svi spektri imaju B band apsorpciju koja se vidi na spektrima Mrk 590, Mrk 926 i Mrk 1018. Ova apsorpcija nije korigovana modelovanjem tog regiona pa time i širine  $H\alpha$  linije nisu relevantne. Na spektru AGJ Mrk 1018 vidi se najveća B band apsorpcija jer je široka komponenta jako slaba (Slika 58 levo).

Za fitovanje  $H\alpha$  linije objekta Mrk 590 koristili smo dva široka Gausijana i uske komponente.  $H\alpha$  linija ima prošireno krilo ka plavom delu spektra u svim spektrima, gde se vidi asimetrija linije. Oblik  $H\beta$  linije se drastičnije promenio, a time se i fitovanje spektara razlikuje. Kod SDSS spektra iz 2003.  $H\beta$  linija fitovana je sa dva široka Gausijana, dok za spektar iz 2018. sa VLT-a bila je dovoljna jedna komponenta. U radu iz 2014. Denney et al. (2014) široka komponenta  $H\beta$  linije potpuno je nestala i izmerene su samo uske komponente  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija (FWHM  $\sim 400$  km/s). Na spektrima iz 2018. i 2019. ponovo se vidi veoma slaba, a proširena komponenta  $H\beta$  linije, FWHM široke komponente je oko 6000 km/s 2018., a 2019. FWHM  $\sim 9300$  km/s. Dok  $H\alpha$  linija je uža 2019., FWHM  $\sim 7950$  km/s, nego 2018., FWHM  $\sim 7600$  km/s.

Intenzitet i širina  $H\alpha$  linije Mrk 926 smanjila se 2019. u odnosu na posmatranja iz 2001. gde se jasno vidi prošireno krilo u plavom delu spektra. Linija  $H\beta$  iz 2001. fitovana je sa dva široka Gausijana, dok se sa spektra iz 2019. vidi prošireno krilo ka crevnom delu spektra. Kod ove galaksije dolazi do značajne promene u širini linija, FWHM široke komponente  $H\alpha$  menja se od 8000 km/s do 4500 km/s, a FWHM široke komponente  $H\beta$  menja se od 9100 km/s do 3700 km/s.

Prilikom fitovanja  $H\alpha$  linije za spektar sa SDSS i WHT korišćena su dva Gaus profila. Spektri AGJ Mrk 1018 iz 2000. i 2019. pokazuju značajnu promenu u intenzitetu i širini linija,  $H\beta$  iz 2019. sa jako slabim intenzitetom i veoma proširena, FWHM  $\sim 14800$  km/s. Promena FWHM široke komponente sa 4000 km/s (2000.) na 2700 km/s (2019.). Spektri sa MUSE iz 2015. vidi se drastična promena  $H\beta$  linije koja je slabo proširena. Takođe, primećen je veći gubitak fluksa u crvenom kraku profila  $H\alpha$  linije na spektru MUSE iz 2015. Izmeren je FWHM široke komponente  $H\alpha$  i iznosi 3300 km/s (McElroy et al., 2016). Ovo nam ukazuje da od 2015. do 2019. nije došlo do ekstremne promene, odnosno nije dovelo do promene Sejfert tipa galaksije.

Za galaksiju NGC 5252 imali smo jedan spektar u  $H\alpha$  oblasti i to sa SDSS, tako da nije bilo mogućnosti za poređenje i analiziranje. Spektar sa WHT je loš zbog loših vremenskih uslova tokom posmatranja dok spektar sa HST u  $H\alpha$  oblasti je preekspozicioniran i takođe nije mogao da se upotrebi. Objekat NGC 5252 ima uske komponente  $H\beta$  linije, pripada tipu Sejfert 2. Ako poredimo sliku 11. iz rada Goncalves et al.

(1998) sa spektrima arhivskim 1999. i 2002. vidimo da u tom periodu nije dolo do promene profila i tipa.

## 5 Zaključak

Predmet ovog rada bile su galaksije koje pokazuju specifične karakteristike i promene u optičkim spektrima. Sve izučavane galaksije svrstane su u malu grupu ekstremno promenljive aktivne galaksije. Analizirani su novi i arhivski spektri galaksija Mrk 590, Mrk 926, Mrk 1018 i NGC 5252. Novi spektri dobijeni su sa Vilijam Heršel teleskopa prvi put se prikazuju u ovom radu. Od arhivskih snimaka korišćeni su spektri sa SDSS teleskopa za sva četiri objekta, sa VLT teleskopa za objekat Mrk 590 i sa HST teleskopa za NGC 5252.

Za obradu sirovih spektara korišćen je softver IRAF. Analiza spektara obuhvatila je oduzimanje zračenja galaksije domaćina, fitovanje spektralnih linija i modelovanje spektra kako bi se odredila širina širokih komponenti  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija. Prilikom analize spektara korišćen je kod FANTASY što je doprinelo da se kod testira i usavrši.

Specifičnost ovih AGJ u odnosu na druge je u tome što je primećeno da u spektrima karakteristične emisione linije mogu da nestanu i da se ponovo posle određenog vremena pojave. U ovom radu pokazana je promena oblika i širine i izračunate vrednosti FWHM širokih komponenti za  $H\alpha$  i  $H\beta$  linije. Nije u potpunosti jasno šta prouzrokuje ovaj fenomen, ali moguće je da dolazi do promene strukture akrecionog diska, pomračenje emisionog regiona koji emituje široke linije nekom neprozračnom materijom, eksplozije supernove, plimskih pojava usled gravitacionog dejstva crne rupe i drugih pojava. Sa spektara objekta Mrk 590 od 2003. do 2019. godine vidi se širenje  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija. Kod objekta Mrk 926 širenje  $H\alpha$  linije je manja 2019. nego 2001. godine. Spektar galaksija Mrk 1018 od 2000. do 2019. značajno se promenio, ako gledamo ukupan spektar AGJ došlo je do promene od tipa Sejfert 1 2000. prešla je u tip Sejfert 1.9 2019. Galaksija NGC 5252 pokazuje odlike tipa Sejfert 2, širina  $H\beta$  je približno ista kao i širina [OIII] linija. Spektri koji su nam bili dostupni i koje samo koristili prilikom analize nisu pokazivali ekstremne promene kod svih AGJ, ekstremne promene koje podrazumevaju nestanak ili nastanak širokih komponenti ili ukupne emisione linije.

Za budući rad bi pre svega trebalo odraditi preciznije modeliranje i fitovanje linija, snimiti nove spektre kako bi se videle još veće promene linija, kao i modelovanje profila linija nekim fizičkim modelom kao što je relativistički Keplerov disk ili model izbacivanja gasa koji bi mogao da otkrije zbog čega se događaju ove ekstremne promene.

## Literatura

- Acosta-Pulido, J. A., Vila-Vilaro, B., Perez-Fournon, I., Wilson, A. S. and Tsvetanov, Z. I. (1996), *ApJ* **464**, 177.
- Antonucci, R. (1993), *ARA&A* **31**, 473.
- Antonucci, R. and Cohen, R. (1983), *ApJ* **271**, 564.
- Antonucci, R. and Miller, J. (1985), *ApJ* **297**, 621.
- Blanchard, P., Nicholl, M., Berger, E., Guillochon, J., Margutti, R., Chornock, R., Alexander, K., Leja, J. and Drout, M. (2017), *ApJ* **843**, 106.
- Boksenberg, A. (1985), *Vistas in Astronomy* p. 531.
- Burke, D., Laurino, O., dtnguyen2 et al. (2020), *sherpa/sherpa: Sherpa 4.12.0* .
- Cohen, R. D., Rudy, R. J., Puetter, R., Ake, T. and Foltz, C. B. (1986), *ApJ* **311**, 135.
- Denney, K., De Rosa, G., Croxall, K., Gupta, A., Bentz, M., Fausnaugh, M., Grier, C., Martini, P., Mathur, S., Peterson, B. et al. (2014), *ApJ* **796**, 134.
- Elitzur, M. (2012), *ApJL* **747**, L33.
- Elitzur, M., Ho, L. C. and Trump, J. R. (2014), *MNRAS* **438**, 3340.
- Eracleous, M., Livio, M., Halpen, J. P. and Storchi-Bergmann, T. (1995), *ApJ* **483**, 610.
- Fausnaugh, M. (2017), *PASP* **129**, 024007.
- Goncalves, A., Veron, P. and Veron-Cetty, M.-P. (1998), *A&A* **333**, 877.
- Guillochon, J. and Ramirez-Ruiz, E. (2013), *ApJ* **767**, 25.
- Huchra, J. and Burg, R. (1992), *ApJ* **393**, 90.
- Jonić, S., Kovačević-Dojčinović, J., Ilić, D. and Popović, L. (2016), *Astrophysics and Space Science* **361**, 101.
- Khachikian, E. Y. and Weedman, D. W. (1971), *ApJ* **164**, L109.
- Khachikian, E. Y. and Weedman, D. W. (1974), *ApJ* **192**, 581.
- Koay, J. Y., Vestergaard, M., Bignall, H., Reynolds, C. and Peterson, B. (2016), *MNRAS* **460**(1), 304.
- Kollatschny, W. and Zetzl, M. (2010), *A&A* **522**, A36.
- Kollatschny, W., Zetzl, M. and Dietrich, M. (2006), *A&A* **454**, 459.
- Korista, K. T. and Goad, M. R. (2004), *ApJ* **606**, 749.

- Krumpe, M., Husemann, B., Tremblay, G., Urrutia, T., Powell, M., Davis, T., Scharwächter, J., Dexter, J., Busch, G., Combes, F. et al. (2017), *A&A* **607**, L9.
- LaMassa, S. M., Cales, S., Moran, E. C. and other (2015), *ApJ* **800**, 144.
- Lyutyj, V., Oknyanskij, V. and Chuvaev, K. (1984), *Soviet Astronomy Letters* **10**, 335.
- Maiolino, R. and Rieke, G. H. (1995), *ApJ* **454**, 95.
- Malkan, M. A., Gorjian, V. and Tam, R. (1998), *ApJ* **117**, 25.
- Massey, P., Valdes, F. and Barnes, J. (1992), ‘A user’s guide to reducing slit spectra with iraf’, *IRAF User Guide* **2**.
- Matt, G., Guainazzi, M. and Maiolino, R. (2003), *MNRAS* **342**, 422.
- McElroy, R., Husemann, B., Croom, S. et al. (2016), *A&A* **593**, L8.
- Merloni, A., Dwelly, T., Salvato, M. et al. (2015), *MNRAS* **452**, 69.
- Nenkova, M., Sirocky, M. M., Ivezić, Ž. and Elitzur, M. (2008), *ApJ* **685**, 147.
- Nenkova, M., Sirocky, M. M., Nikutta, R., Ivezić, Ž. and Elitzur, M. (2008), *ApJ* **685**, 160.
- Netzer, H. (2015), *ARA&A* **53**, 365.
- Oke, J. and Gunn, J. (1983), *ApJ* **266**, 713.
- Osterbrock, D. E. (1977), *ApJ* **215**, 733.
- Osterbrock, D. E. (1978), *Proceedings of the National Academy of Sciences* **75**, 540.
- Osterbrock, D. E. (1981), *ApJ* **249**, 462.
- Osterbrock, D. E. and Koski, A. (1976), *MNRAS* **176**, 61.
- Osterbrock, D. and Shuder, J. (1982), *ApJ* **49**, 149.
- Osterbrock, D. and Shuder, J. (1993), *ApJ* **414**, 552.
- Penston, M. V. and Perez, E. (1984), *MNRAS* **211**, 33.
- Peterson, B. M. et al. (1998*a*), *ApJ* **613**, 682.
- Peterson, B. M. et al. (1998*b*), *ApJ* **501**, 82.
- Pogge, R. W. (2000), *NAR* **44**, 381.
- Raimundo, S. I. (2019), *MNRAS* **486**, 123.
- Rakić, N. (2020), *u pripremi* .
- Seyfert, C. K. (1943), *ApJ* **97**, 23.

- Shapovalova, A. I., Popović, L., Burenkov, A. N. et al. (2010), *A&A* **509**, 106.
- Stern, D. and Laor, A. (2012), *MNRAS* **426**, 2703.
- Stern, D. et al. (2018), *ApJ* **864**, 27.
- Vanden Berk, D. E., Shen, J., Yip, C.-W. et al. (2006), *AJ* **131**, 84.
- Veron-Cetty, M.-P. and Veron, P. (1986), *A&A* **65**, 241.
- Wang, J. M. and Zhang, E. (2007), *ApJ* **660**, 1072.
- Ward, M. J., Wilson, A. S., Penston, M. V. et al. (1978), *ApJ* **223**, 788.
- Weaver, K. (2001), *ASP* **249**, 389.