

# PROUČAVANJE DUGOPERIODIČNIH SPEKTRO-FOTOMETRIJSKIH PROMENA KOD AKTIVNIH GALAKTIČKIH JEZGARA



Dragana Ilić

Katedra za astronomiju, Matematički fakultet

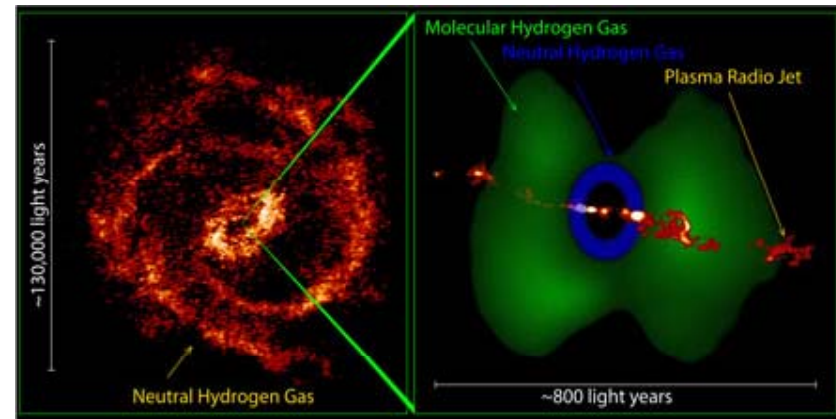
Anđelka Kovačević , Katedra za astronomiju, Matematički fakultet

Luka Č. Popović, Astronomska opservatorija u Beogradu

Alla I. Shapovalova, SAO Opservatorija, Rusija

# TOK PREDAVANJA

- Aktivna galaktička jezgra
- Mogućnosti i značaj dugoročnog praćenja i posmatranja AGJ
- Primeri: NGC 5548, NGC 4151, 3c390.3...
- Vangalaktička spektroskopija na Katedri i AOB



# AKTIVNA GALAKTIČKA JEZGRA (AGJ)

- AGJ fenomen – svuda prisutan!
- osobine AGJ :
  - kompaktna veličina
  - ogromna luminoznost:  
 $L \sim 10^{42}-10^{48} \text{erg/s}$  (do  $10^{15}$  lum.Sunca)
  - zrače na svim talasnim dužinama
  - intenzivne široke i uske emisione linije!!
  - promenjivost fluksa (~1 dan!)
  - najjači radio-izvori (džetovi)
  - mnogo različitih tipova

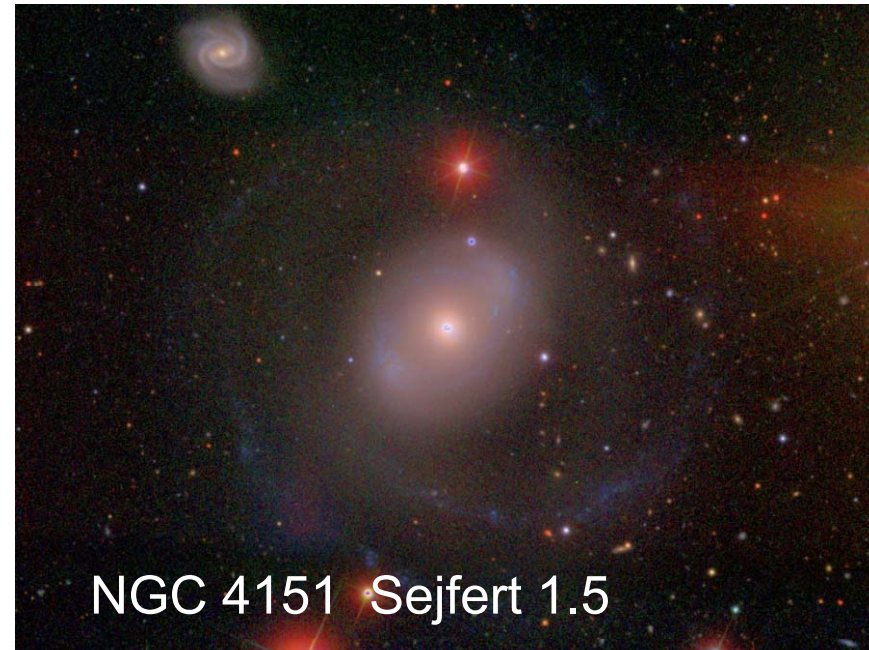
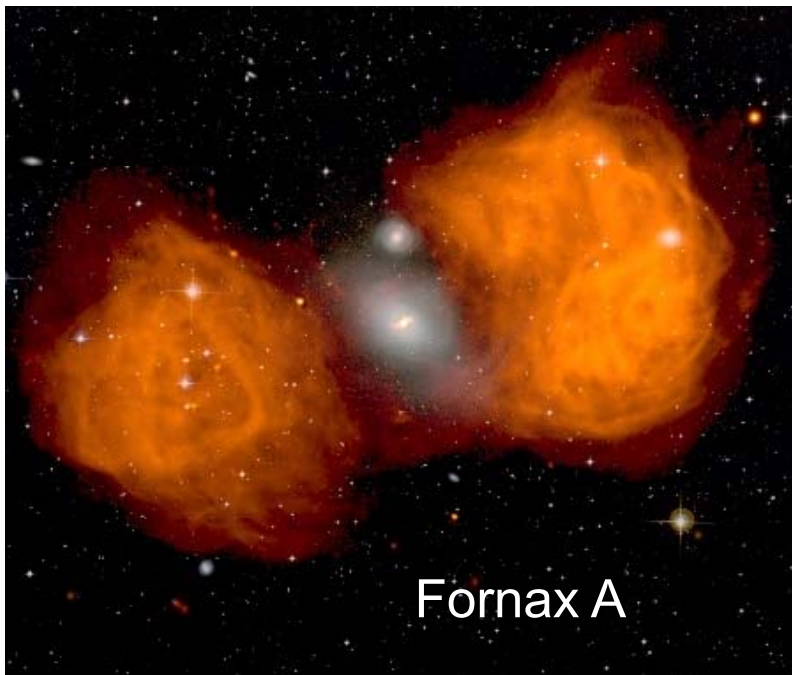




# RAZLIČITE VRSTE AGJ

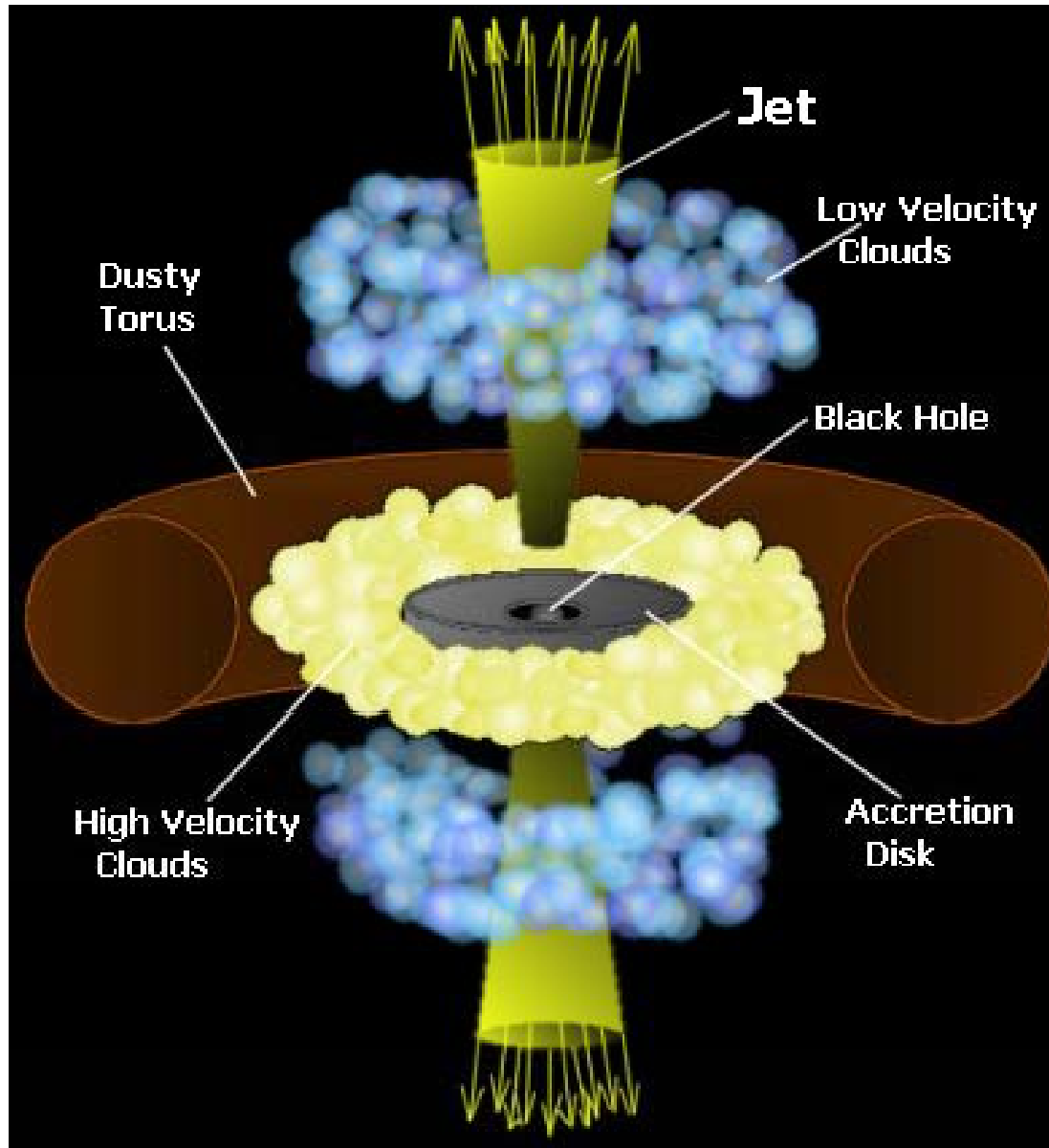
- Sejfert galaksije  
spiralne galaksije sa vrlo sjajnim jezgrom; jake emisione linije

- Radio galaksije



- Kvazari  
najsjaniji objekti na nebu;  
zapremina veličine Sunčevog sistema izrači energiju oko  $10^{12}$  zvezda!!

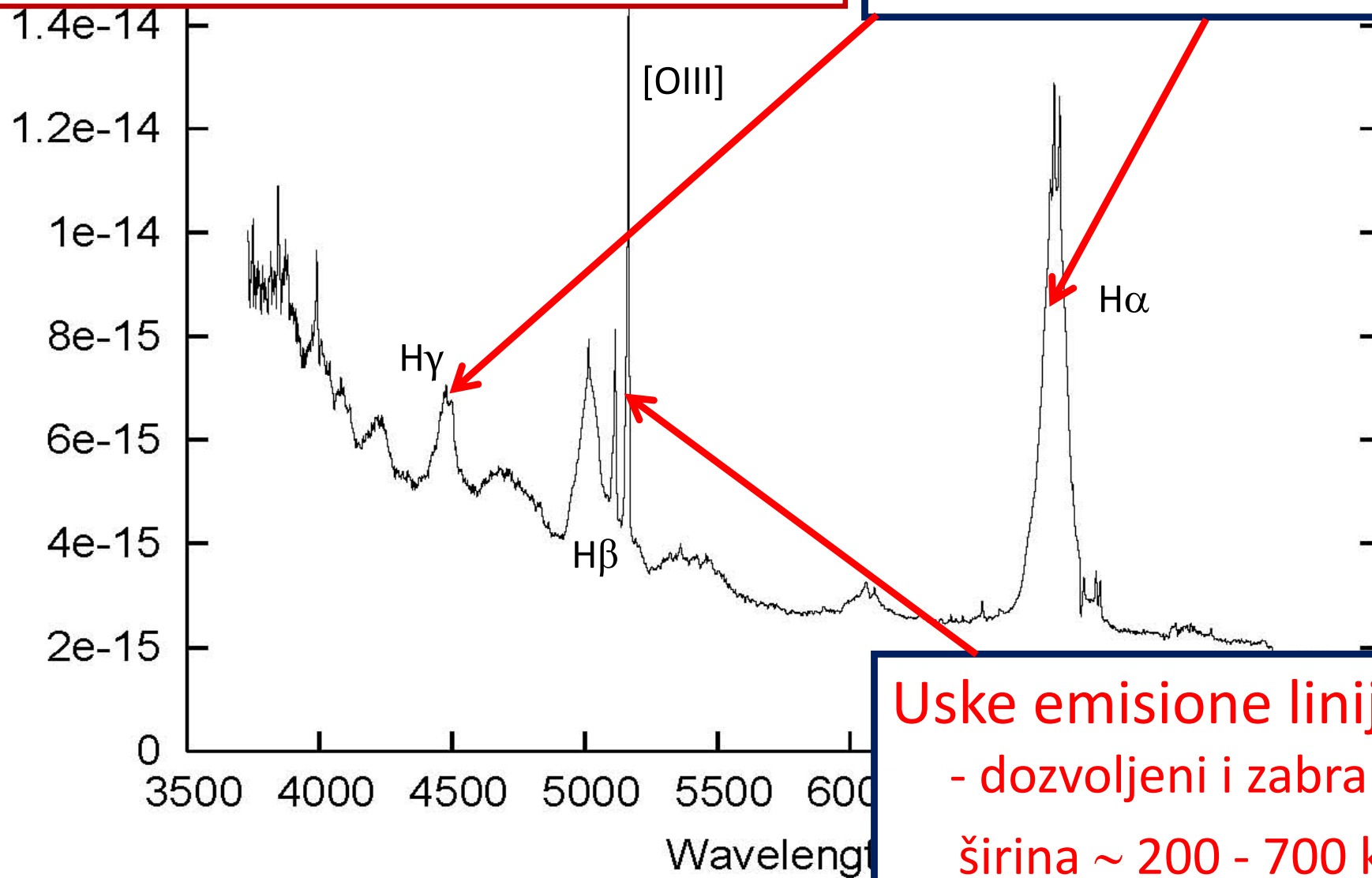
# STRUKTURA AGJ



- supermasivna crna rupa ( $10^7 - 10^{10} M_{\text{sun}}$ )
- akrecioni disk
- mehanizam akrecije
- emisioni regioni
  - širokolinijski region (broad line region - BLR)
  - uskolinijski region (narrow line region - NLR)

# EMISIONE LINIJE

Balemrove linije kod AGJ Mrk 817  
(Ilic et al.2006)



Široke emisione linije  
- samo iz dozvoljenih prelaza  
širina  $\sim 2000 - 10000$  km/s

Uske emisione linije  
- dozvoljeni i zabranjeni  
širina  $\sim 200 - 700$  km/s

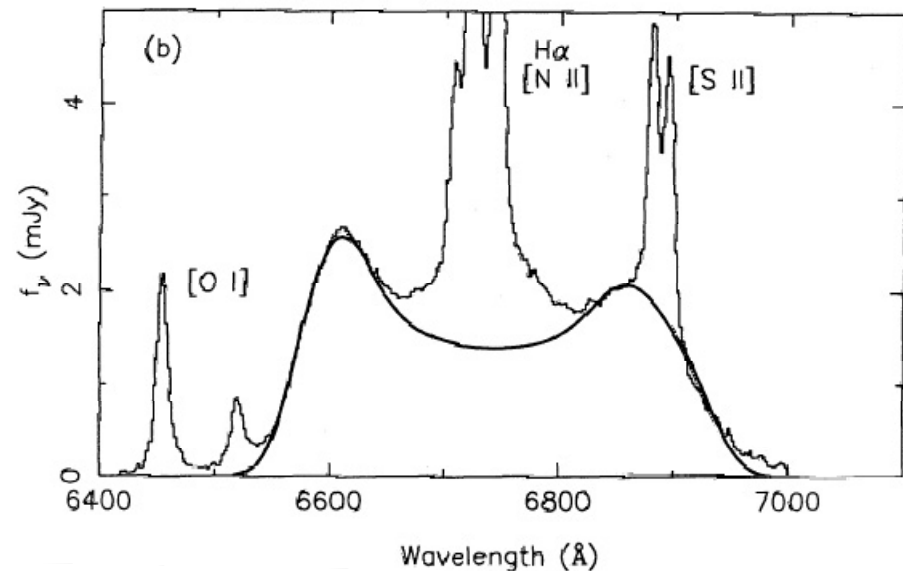
# EMISIONE LINIJE – ŠTA NAM GOVORE?

## ○ Fizički uslovi u gasu

- temperatura
- koncentracija
- stepen jonizacije

## ○ Kinematika gasa

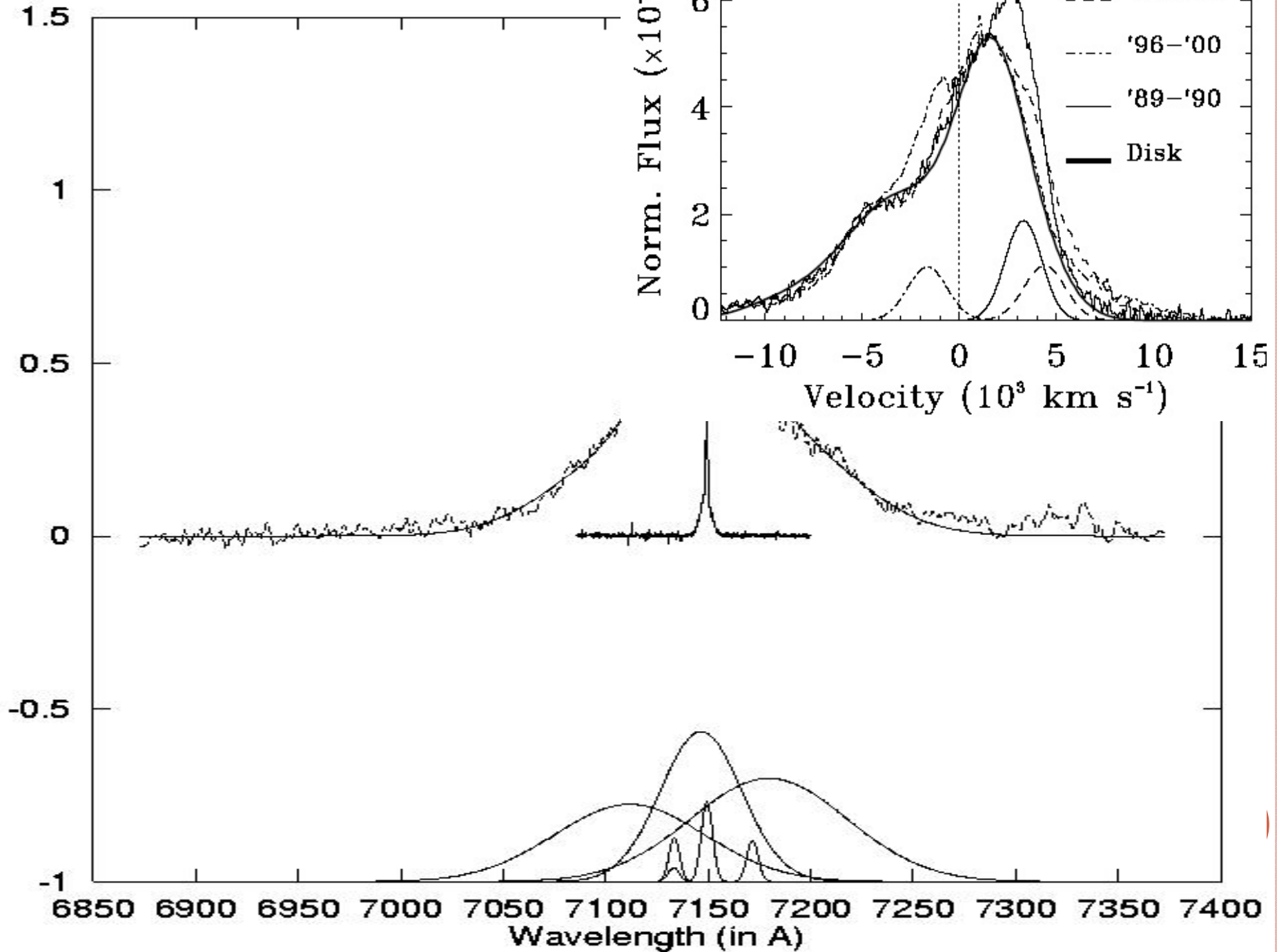
- brzine (iz širina linija)
- dimenzije (reverberacija – kašnjenje signala)
- geometrija (oblici linija)





# POSMATRANJA vs. LA

ANALIZA SPOSOBNOSTI

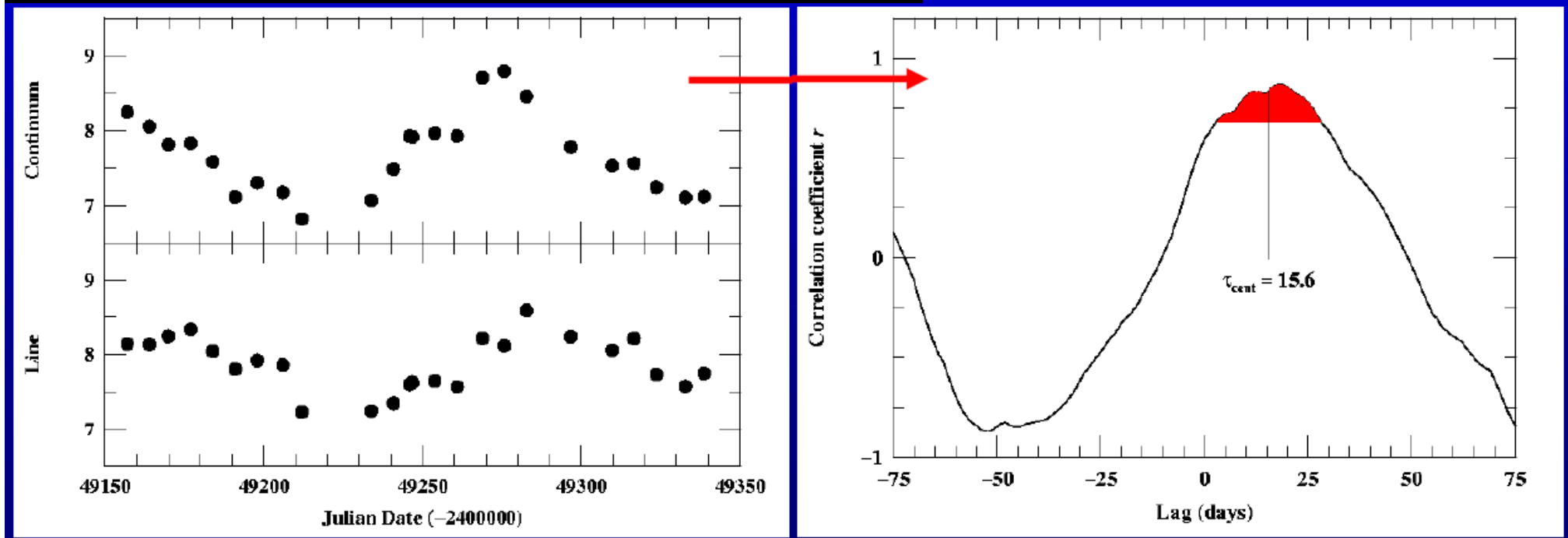




# METOD REVERBERACIJE

$$CCF(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(\tau') ACF(\tau - \tau') d\tau'$$

kros-korelaciona funkcija



○ kašnjenje signala u linijama  $\Rightarrow$  dimenzije BLR

Blandford & McKee 1982, Wandel et al. 1999, Kollatschny et al. 2001, Kaspi 2000, Peterson et al. 2004, Shapovalova et al. 2008...

# PROCENA MASE CRNE RUPE



- Masa crne rupe  $M_{BH}$ :

teorema virijala  $M_{BH} \sim R_{BLR} V^2 / G$

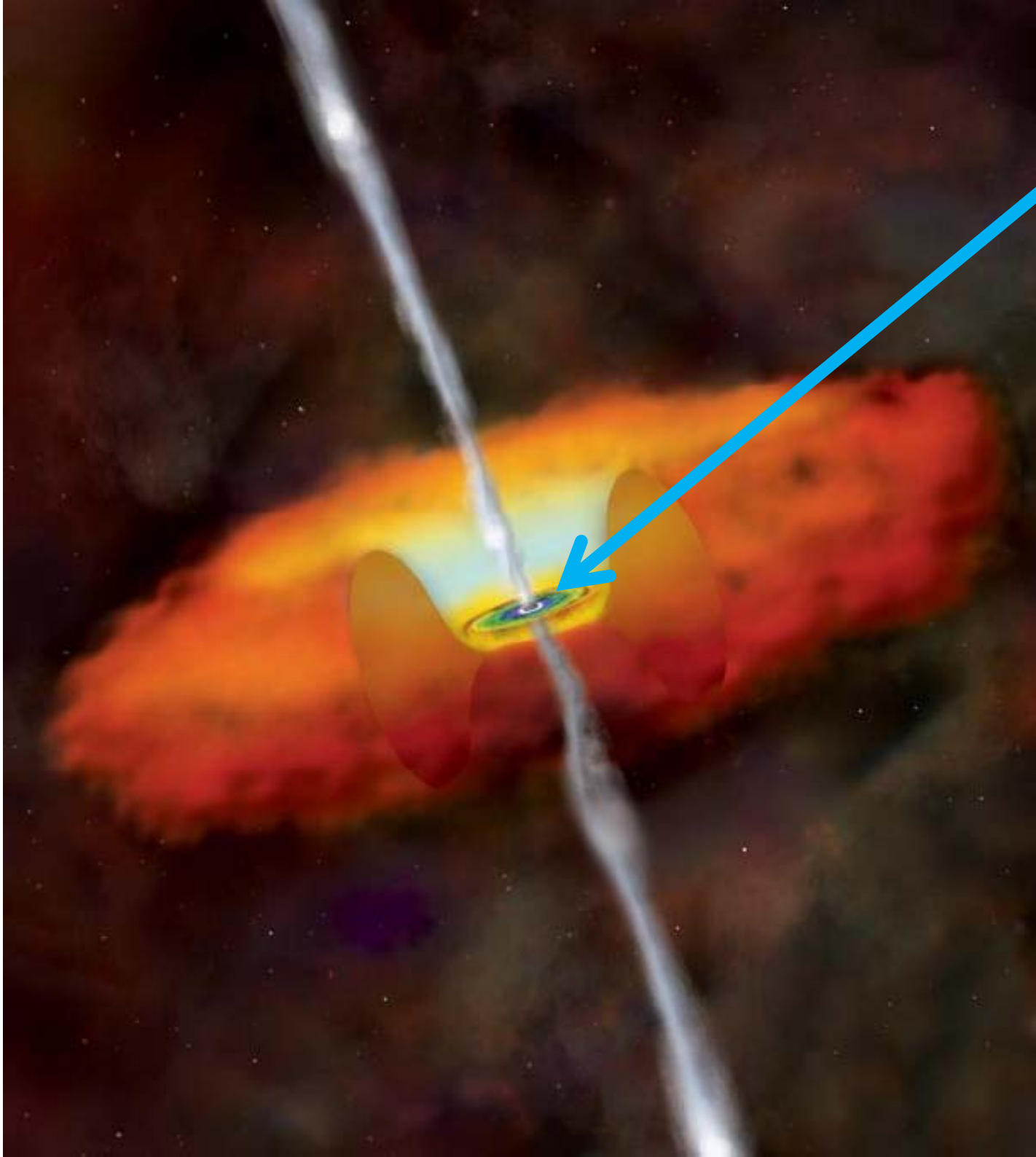
metod reverberacije ( $L \sim R_{BLR}^k$ )

**=>  $M_{BH}$  dobijamo iz luminoznosti ( $R_{BLR}$ ) & FWHM**

(Wandel et al. 1999; Kaspi et al. 2000, 2005; McGill et al. 2008)

$$M_{BH} = const \cdot L_v^k \cdot FWHM^2$$

- **Problem:** geometrija BLR (npr. inklinacija - donja granica FWHM  $\rightarrow M_{BH}$ )!



da bi procenili  
masu  $M_{\text{BH}}$  i  
proučavali  
osobine  
galaksije  
domaćina  
treba nam BLR

šta znamo  
o BLR i  
kako  
možemo  
više da  
saznamo?

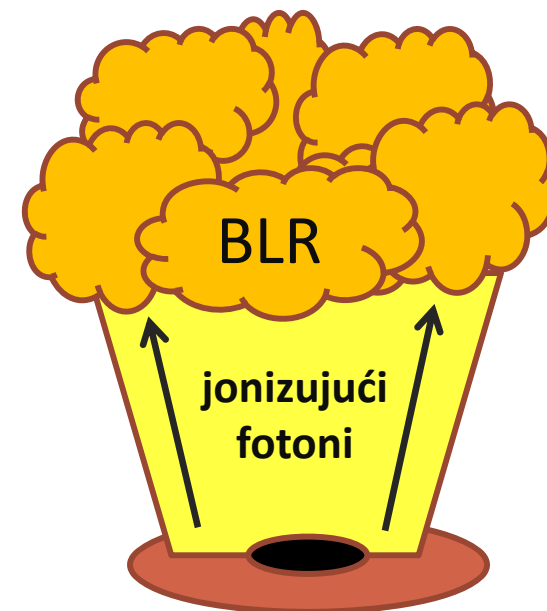
# ŠIROKOLINIJSKA OBLAST (BLR)

## Kinematičke osobine

- FWHM ~ up to 10,000 km/s
- dimenzije: svetlosni dani – svetlosne godine
- kompleksna oblast (više podoblasti  $\Leftarrow$  kompleksni oblici linija)
- geometrija: ?
  - disk
  - disk + vetar
  - izbacivanje materija
  - disk + sferna oblast

## Fizičke osobina

- $T \sim 10^4$  K
- $N_e \sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
- fotojonizacija (mehanizam zagrevanja)
- udarni talasi?





# AGJ – PROMENJIVI OBJEKTI

- varijacije u fluk
- može doći do p
- promene profila linija

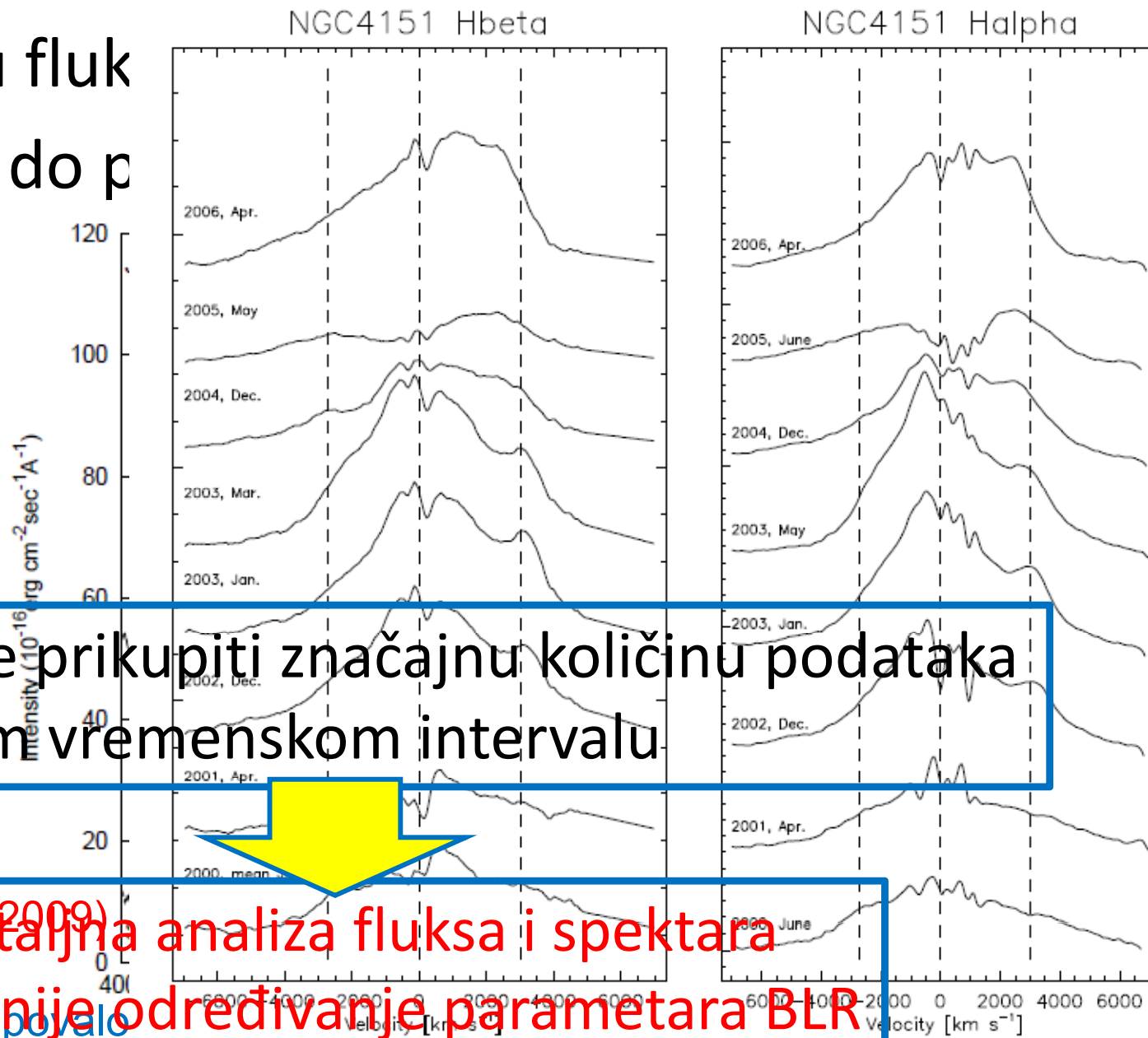
Potrebno je prikupiti značajnu količinu podataka u što dužem vremenskom intervalu

(Shapovalova et al. 2009)

detaljna analiza fluksa i spektara

3c390.5 (Shapoval

preciznije određivanje parametara BLR



# POSMATRAČKI PODACI

- 6m + 1m teleskopi - SAO RAS (Kavkaz, Rusija)
- 2.1 m teleskop - Guillermo Haro Observatory, Cananea, Sonora, Meksiko
- 2.1-m teleskop - Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Martir, Baja California, Meksiko

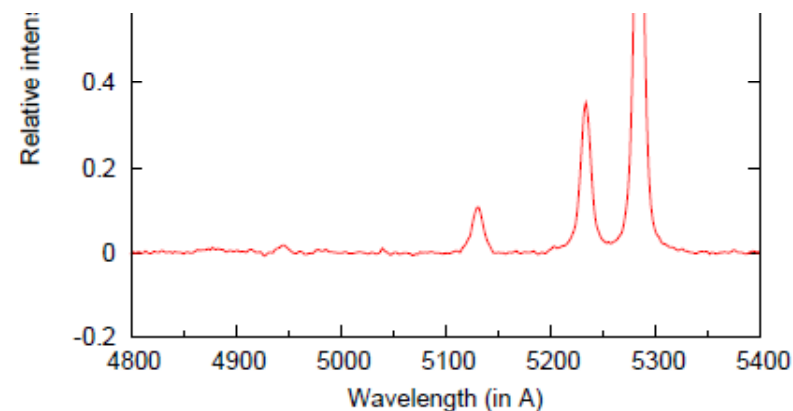
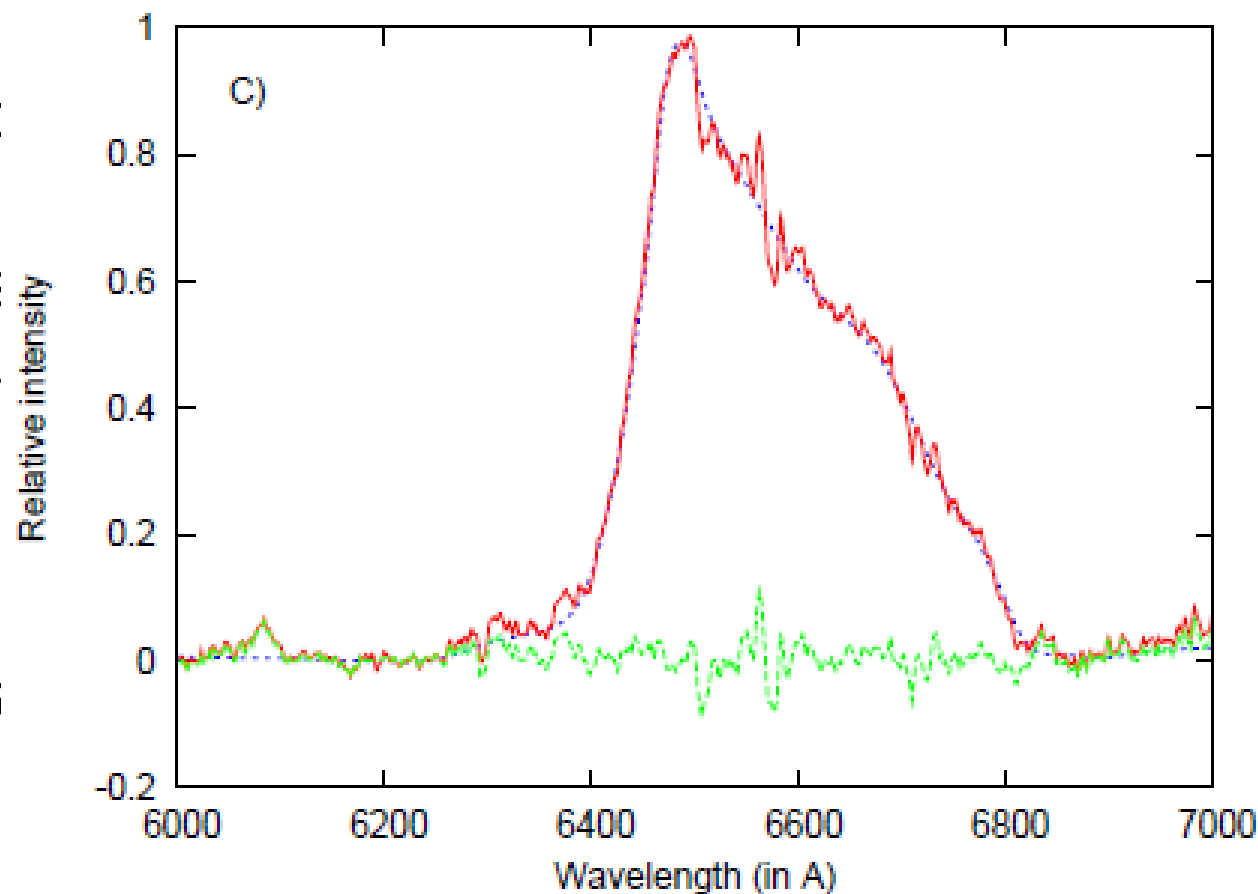


# PROGRAM DUGOPERIODIČNIH POSMATRANJA

- PI: Alla I Shapovalova, Alexander N. Burenkov (Rusija), Vahram H. Chavushyan (Meksiko)
- višegodišnje konstantno posmatranje poznatih AGJ:
  - **NGC 5548** – 9 godina (Ilić 2007, Popović et al. 2008)
  - **NGC 4151** – 11 godina (Shapovalova et al. 2008, 2009, 2010a)
  - **3C390.3** – 13 godina (Shapovalova et al. 2010b, Popović et al. 2011, Jovanović et al. 2010)
  - **Arp 102B** – 12 godina (u pripremi)
  - **Ark 564** – 11 godina (u pripremi)
- promena u fluksu linija, fluksu kontinuuma, obliku linija,...
- moćan alat za dijagnostiku emisionog regiona

# DETALJNA OBRADA PODATAKA I ANALIZA

- spektro-fotometrijska ok (SAO softver, IRAF): npr. relativna kalibracija fluksa
- APSOLUTNA kalibracija f normirani na fluks uskih [OI] (pretpostavka da su
- korekcija za pozicioni ugao i efekte aperture
- detalji u radu  
Shapovalova, Popović...Kovačević et al. 2008, A&A, 486, 99
- oduzimanje kontinuuma i uskih linija

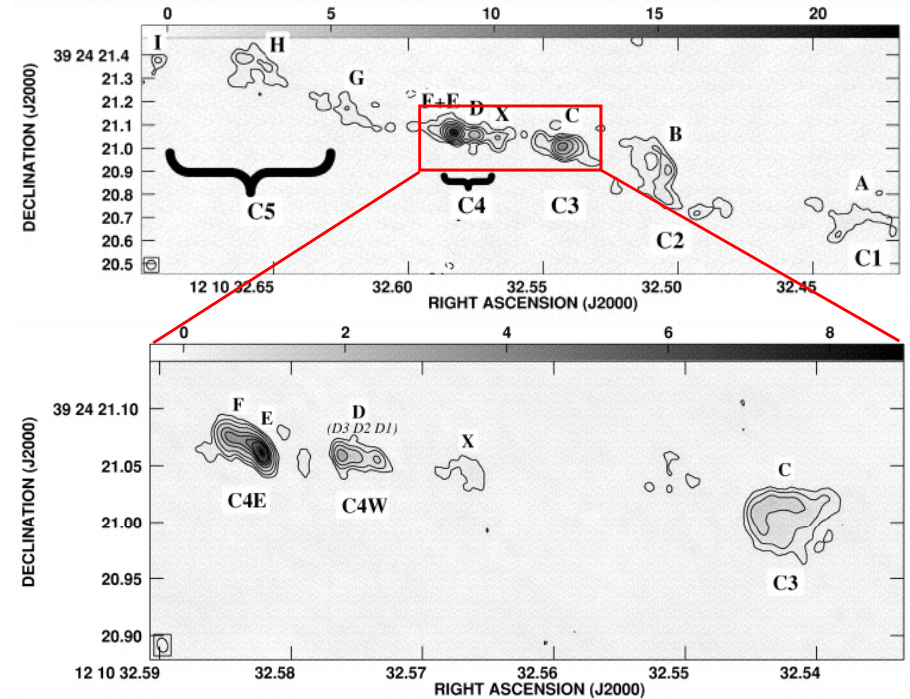
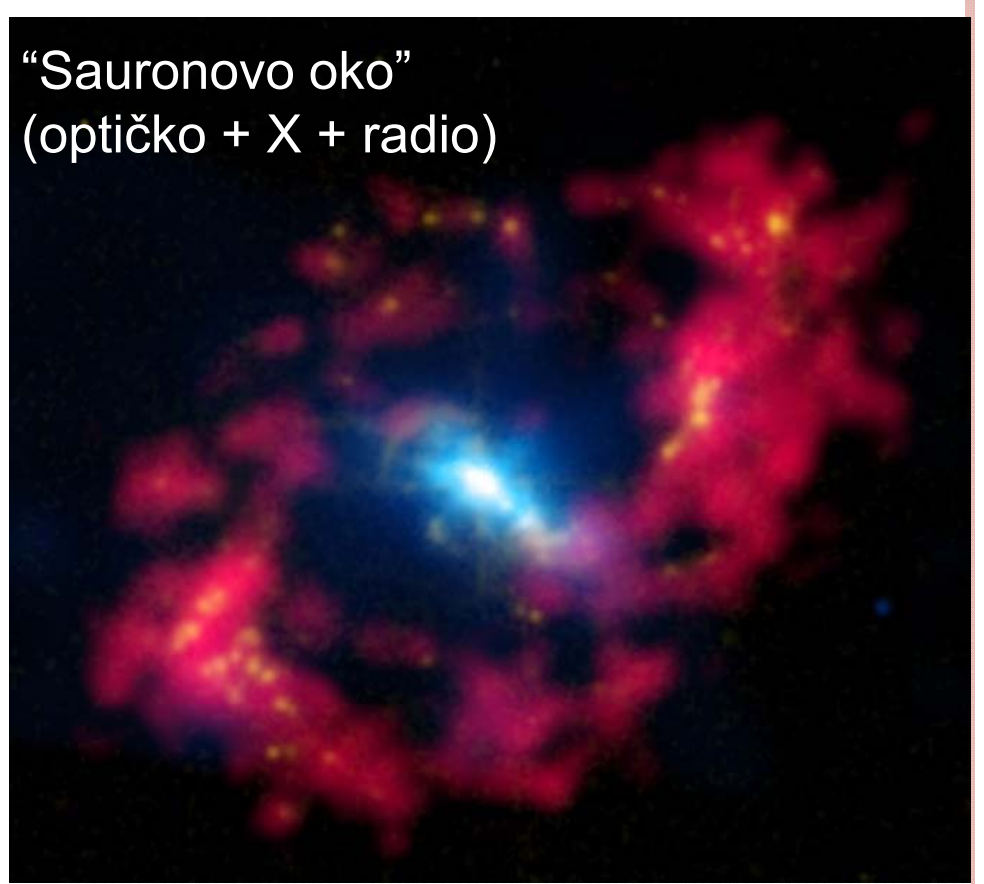




# NGC 4151

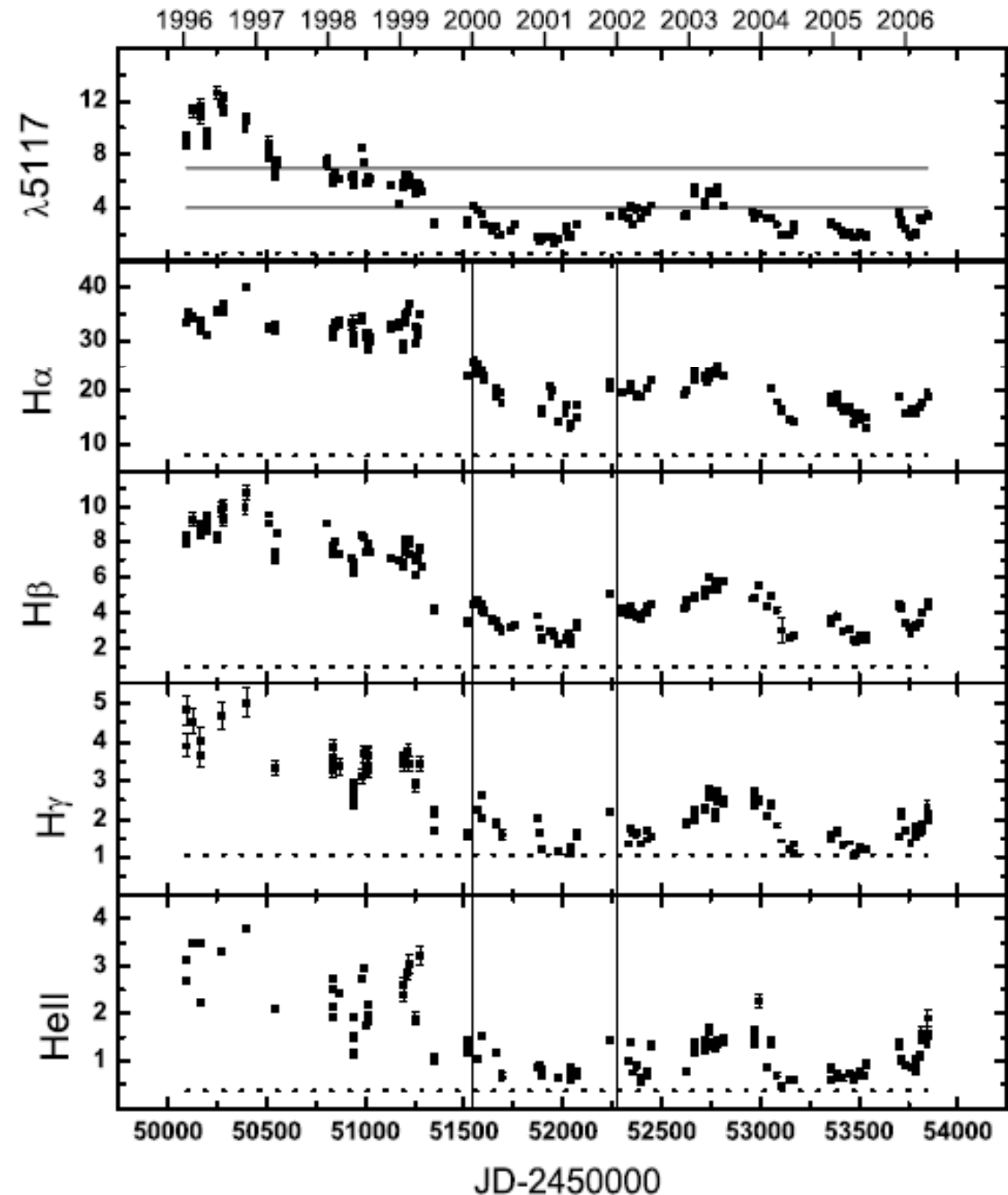
- sjajna aktivna galaksija
- jedna od najbližih
- promenjiv izvor u kontinuumu i linijama (npr. Peterson 1988; Sergeev et al. 2001)
- kompleksni i neobični profili linija
- radio-džet od 1pc (Mundell et al. 2003; Ulvestad et al 2005)

“Sauronovo oko”  
(optičko + X + radio)



# NGC 4151

- podaci iz 11 godina
- CCF analiza
- ⇒ BLR jako kompaktnih dimenzija
- ⇒ ~ 0-2 svetlosnih dana!
- 3 karakteristična perioda

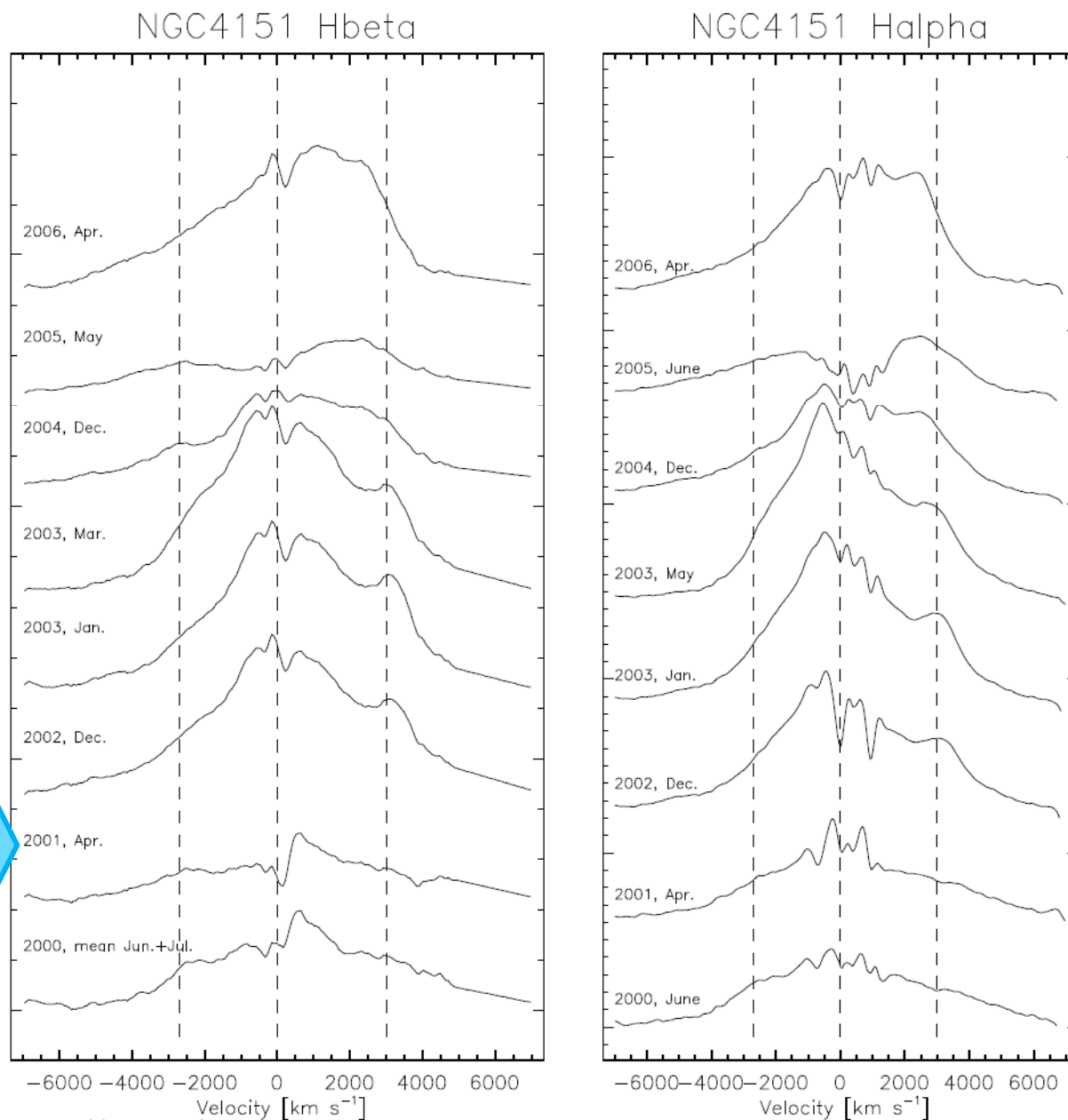


Shapovalova, Popović, Kovačević et al. 2008, A&A, 486, 99

# NGC 4151 – PROMENA PROFILA LINIJA

- profili  $H\alpha$  i  $H\beta$  linija se menjaju drastično tokom posmatranog perioda
- plave i crvene asimetrije

neki usrednjeni profili (po mesecima) za široke  $H\alpha$  i  $H\beta$  emisije linije u periodu 2000-2006



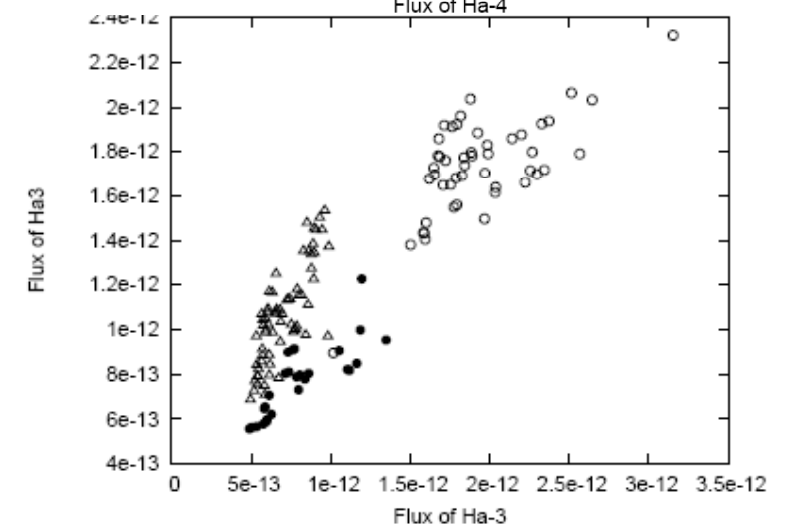
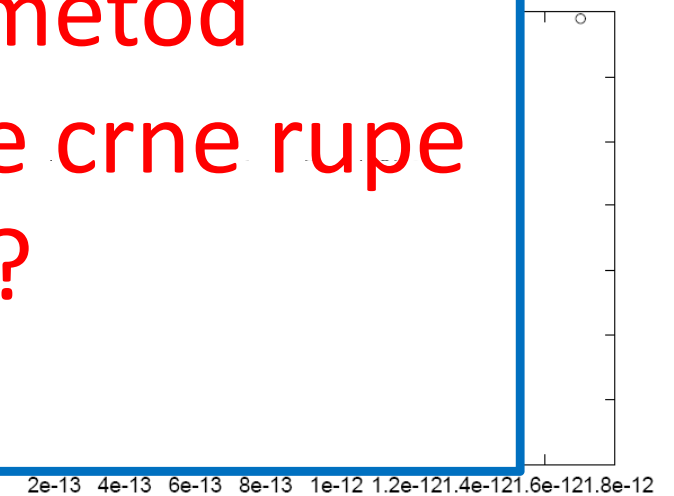
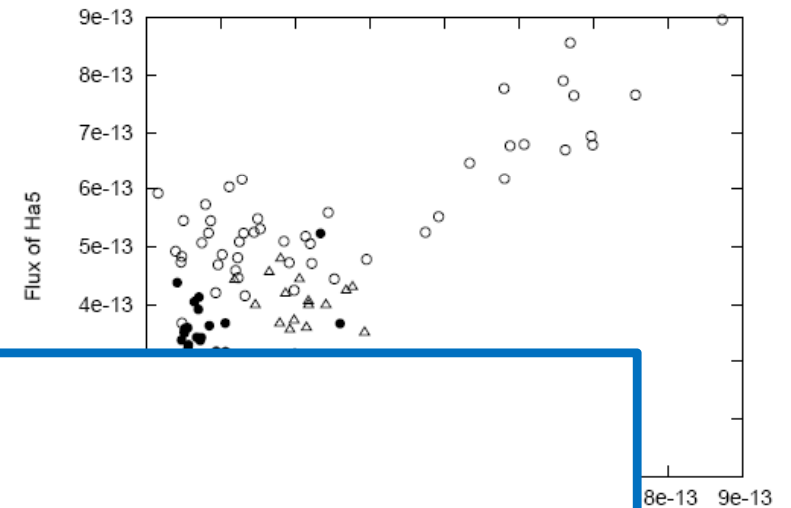
# NGC 4151 – H $\alpha$ LINIJA

o podjelimo H $\alpha$  liniju na segmente

Da li je u redu primeniti metod reverberacije za procenu mase crne rupe u slučaju NGC 4151?

- o 3 kinematički različite oblasti: plavo krilo i jezgro linije (džet, izbacivanje materije), crveno krilo (fotojonizacija)

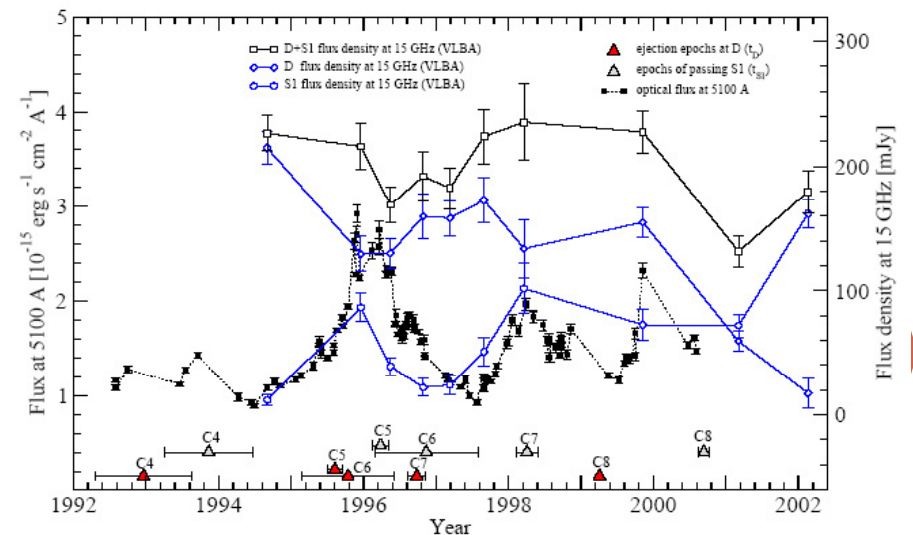
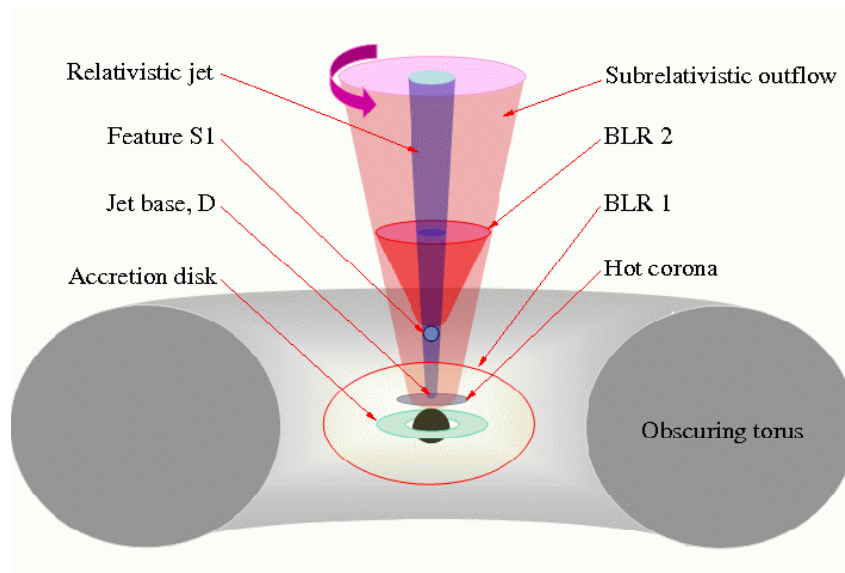
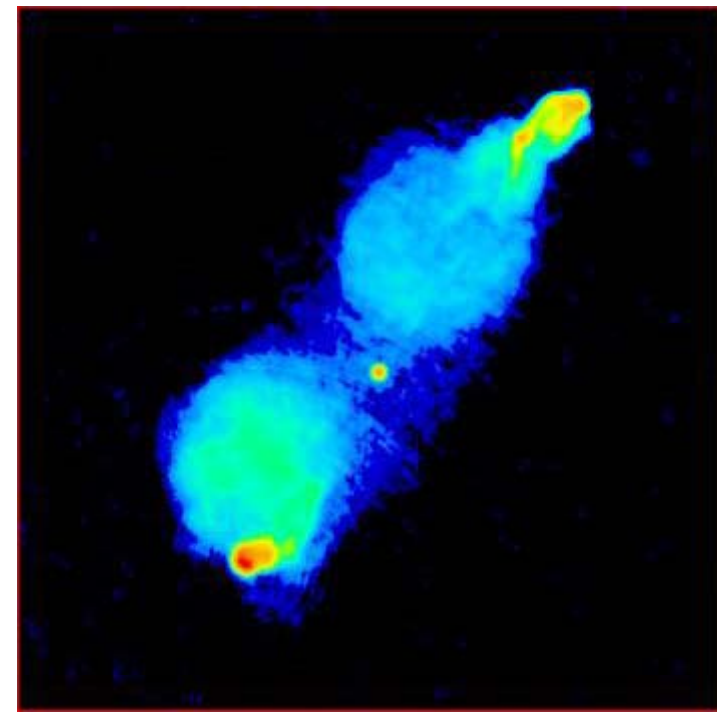
Shapovalova , Popović, Ilić, Kovačević et al.  
2010a, A&A, 509, 106





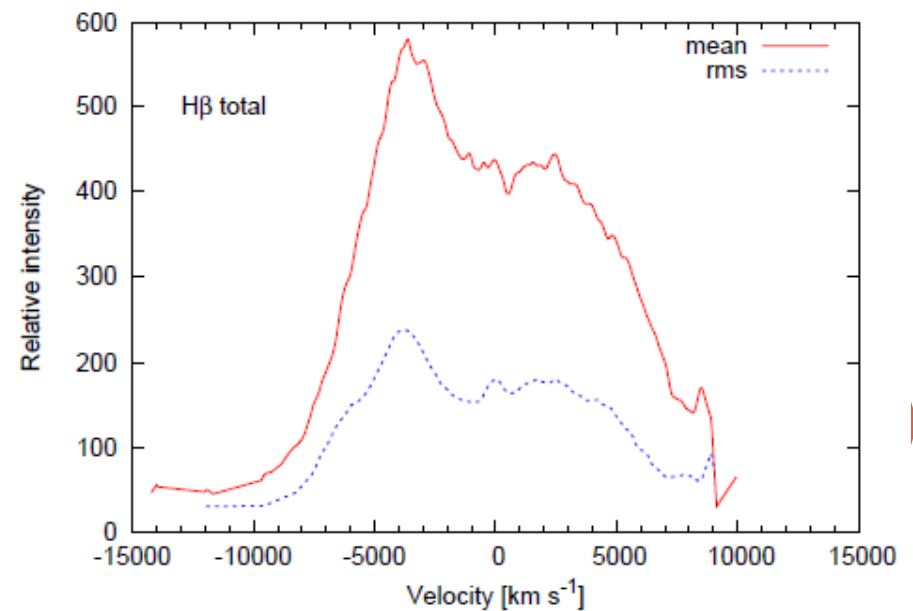
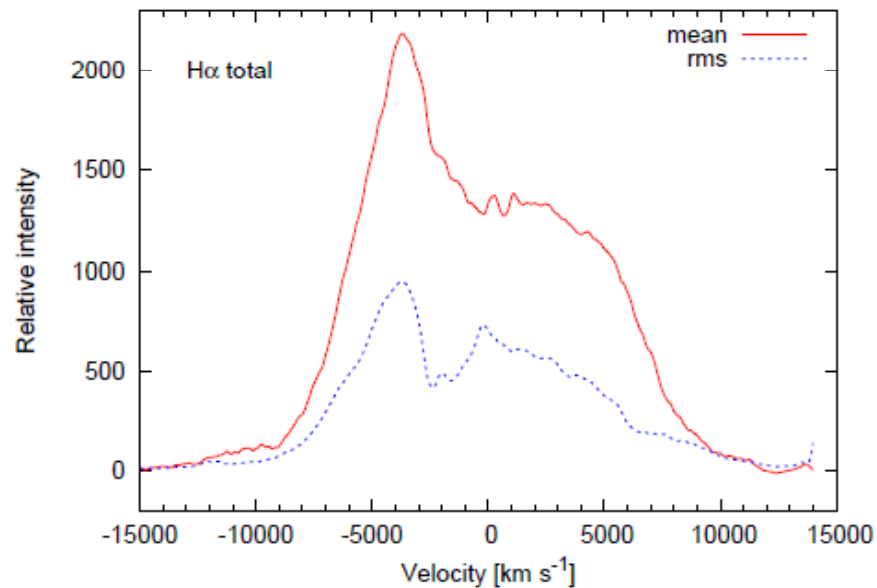
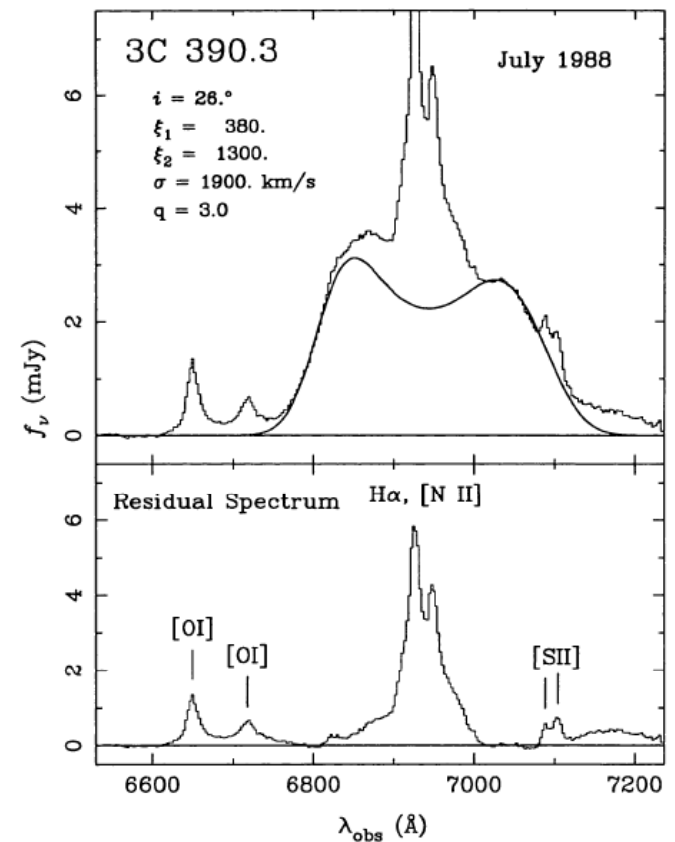
# 3c390.3

- radio-jaka galaksija dvostruki radio-izvor sa jakim jezgrom (Leahy & Perley 1991)
- superluminalno kretanje ( $v/c \sim 4$ ) (Alef et al. 1988; 1996)
- emisija optičkog kontinuuma na 5100 Å prati emisiju radio-komponenti D & S1 u radio-mlazu (Arshakian et al. 2010)



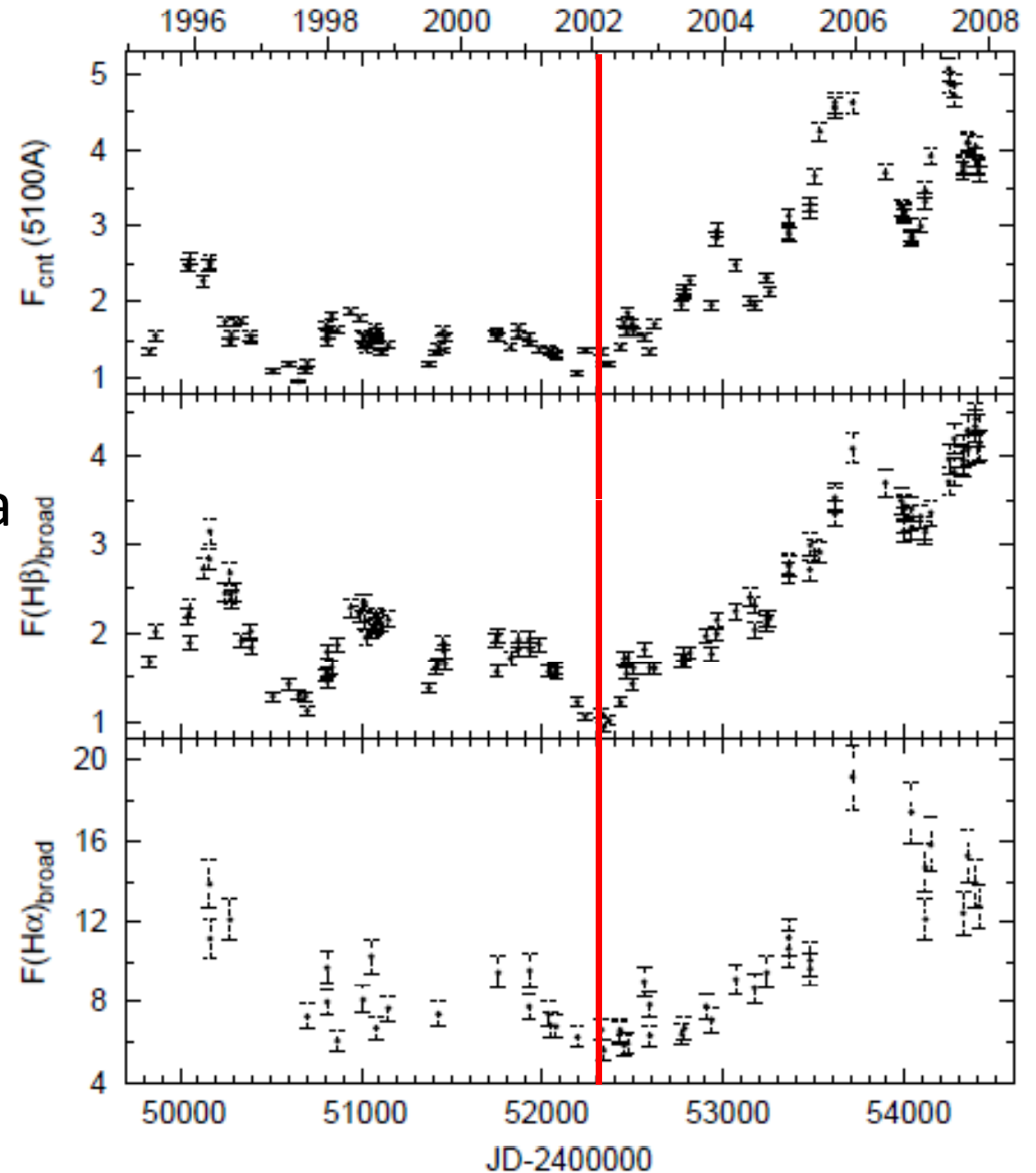
# 3C 390.3

- široke linije sa dva pika (Eracleous & Halpern 1994)
- dokaz o emisiji diska u linijama
- promenjivi profili linija  $\Rightarrow$  različiti kompleksni modeli: dvostruka BLR, precesija diska, perturbacije u disku, itd.



# 3c390.3

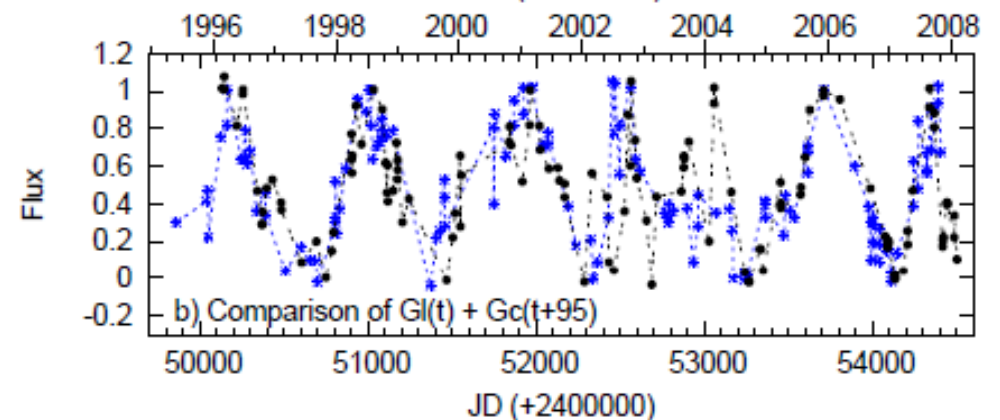
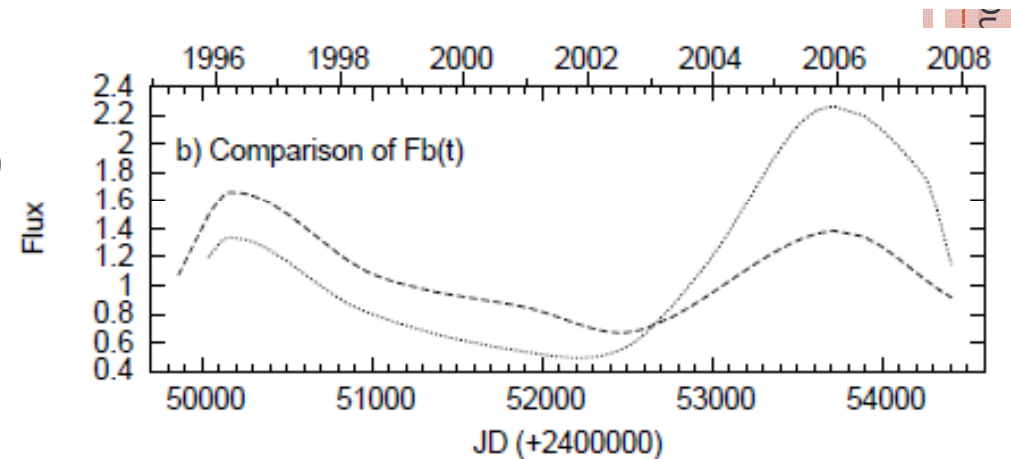
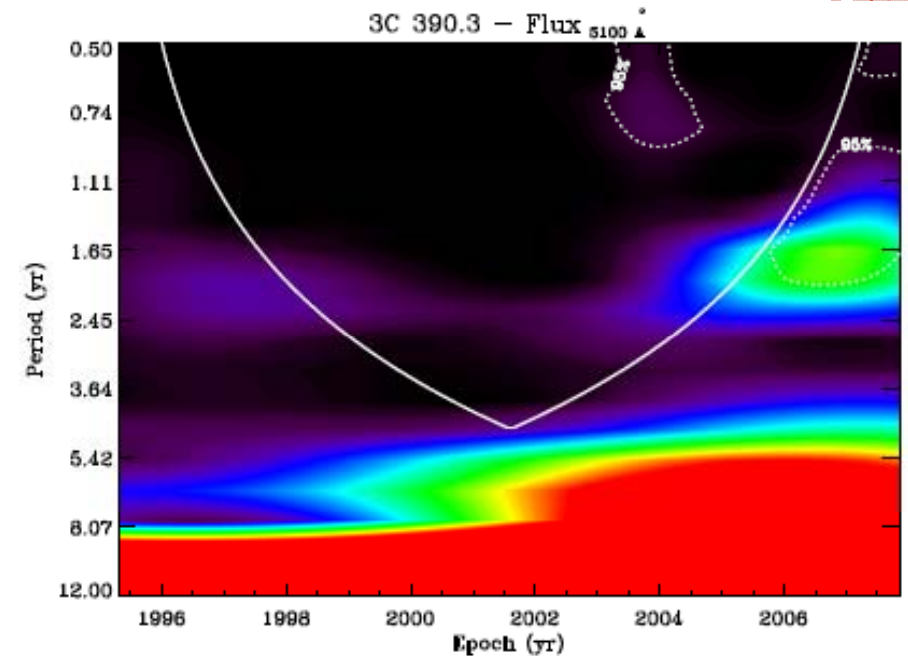
- podaci iz 13 godina
- nekoliko max i min
- CCF analiza (ZDCF, ICCF)
- ⇒  $H\alpha \sim 120$  svetlosnih dana
- ⇒  $H\beta \sim 95$  svetlosnih dana
- ⇒ stratifikacija BLR
- minimum iz 2002 ⇒ 2 karakteristična perioda



Shapovalova, Popović, Ilić, Kovačević et al. 2010b, A&A, 517, 42

# 3c390.3 - QPOs

- kvazi-periodične oscilacije (QPOs)
  - Morlet vejevlet transformacija
  - analiza minimuma i maksimuma  $H\beta$  i kontinuuma
- QPOs sa periodom:
  - ~ 10 godina (Veilleux & Zheng 1991)
  - ~ 2-4 godine
- udarni talasi koji se formiraju blizu BH i šire u spoljašne oblasti diska **LI** doprinos izbacivanja materije ili džeta

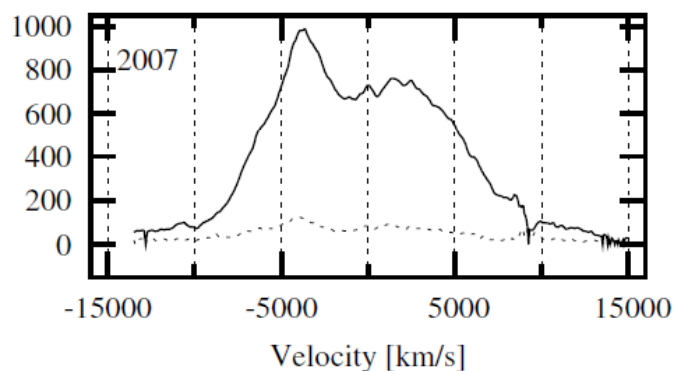
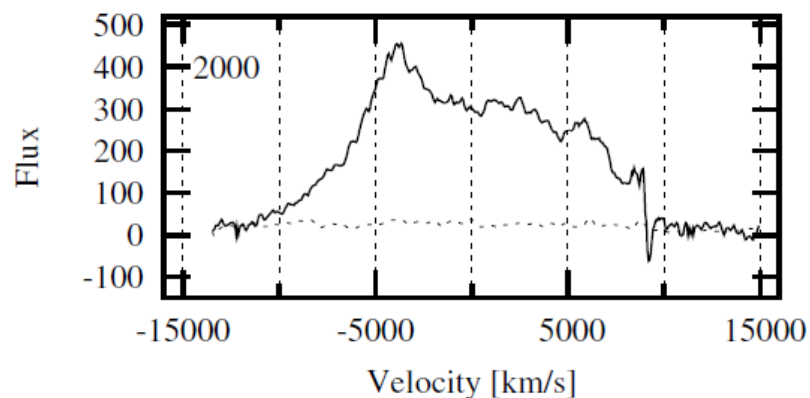


Shapovalova , Popović, Ilić, Kovačević  
et al. 2010b, A&A, 517, 42



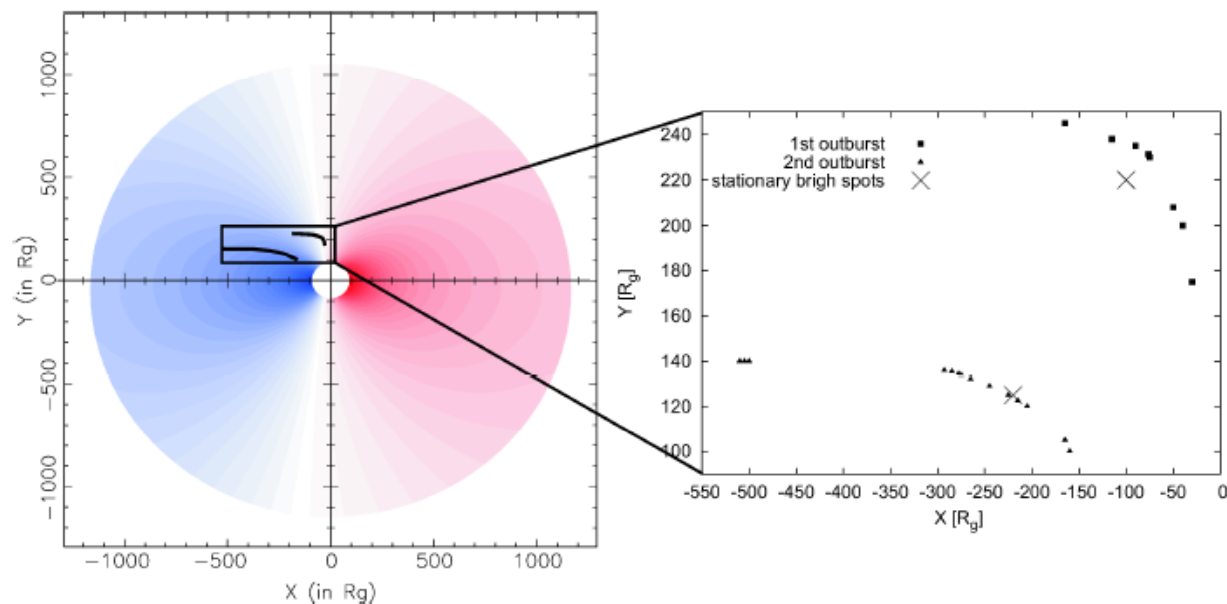
# 3c390.3 – PROFILI LINIJA

- profili linija se drastično menjaju: uvek prisutan profil diska sa izraženim plavim pikom, ali se povremeno javlja i centralni pik  
 $\Rightarrow$  pored diska možda postoji dodatna emisiona oblast



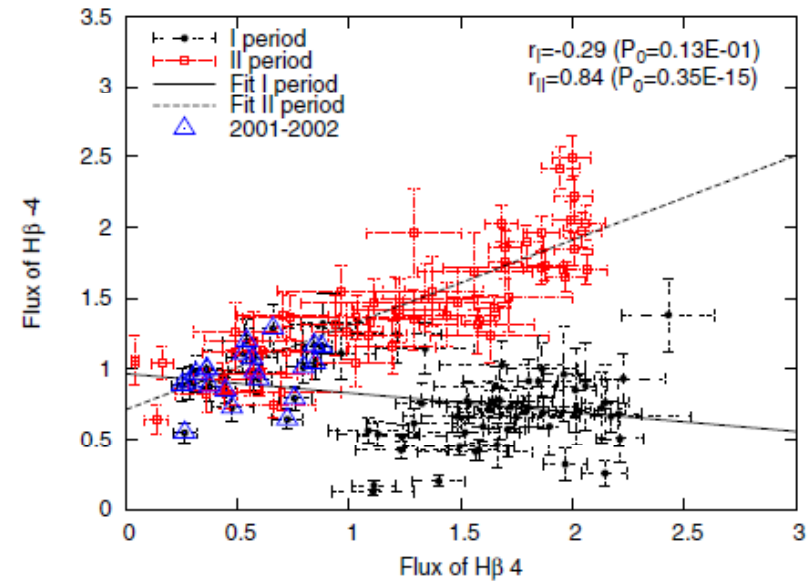
- perturbacija u disku za opis profila linija

Jovanović, Popović,  
Stalevski, Shapovalova  
2010, ApJ, 718, 168

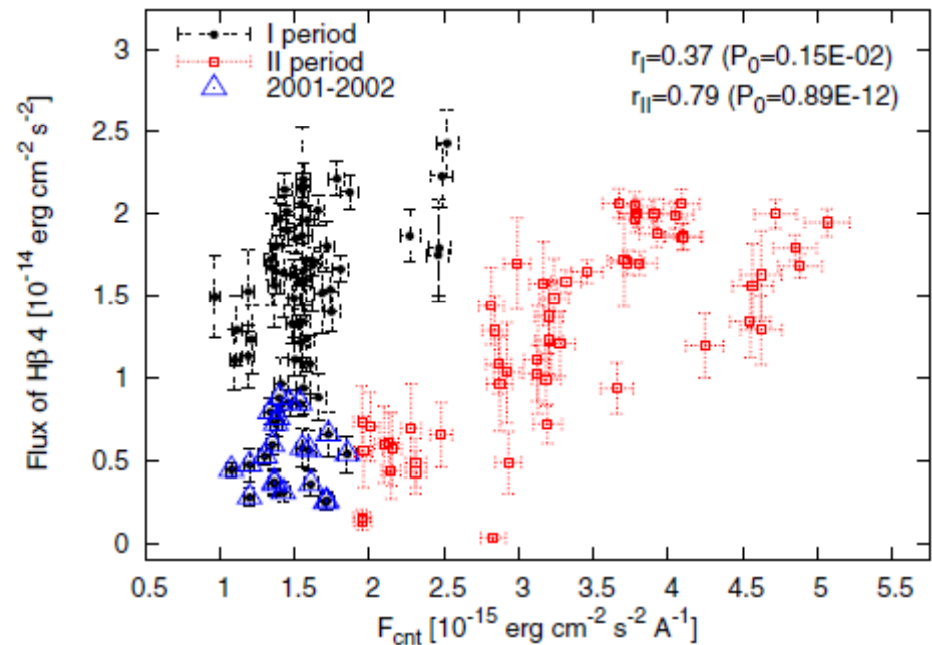
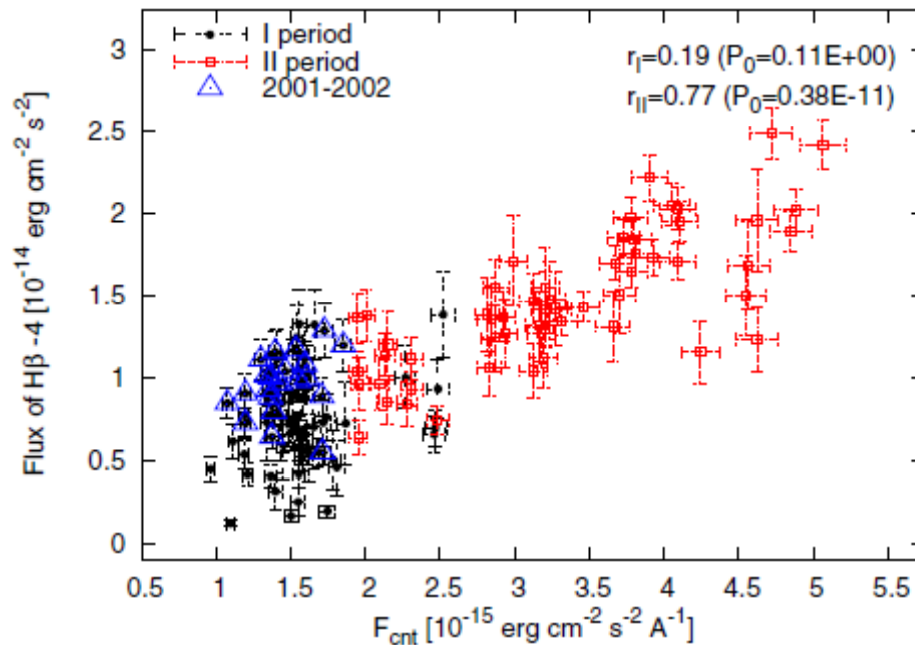


# 3c390.3 – H $\beta$ LINIJA

- plavo i crveno krilo H $\beta$   
 $\leftrightarrow$  segmenti -4 i +4
- Period I i II: različit odgovor krila na promene fluksa kontinuuma

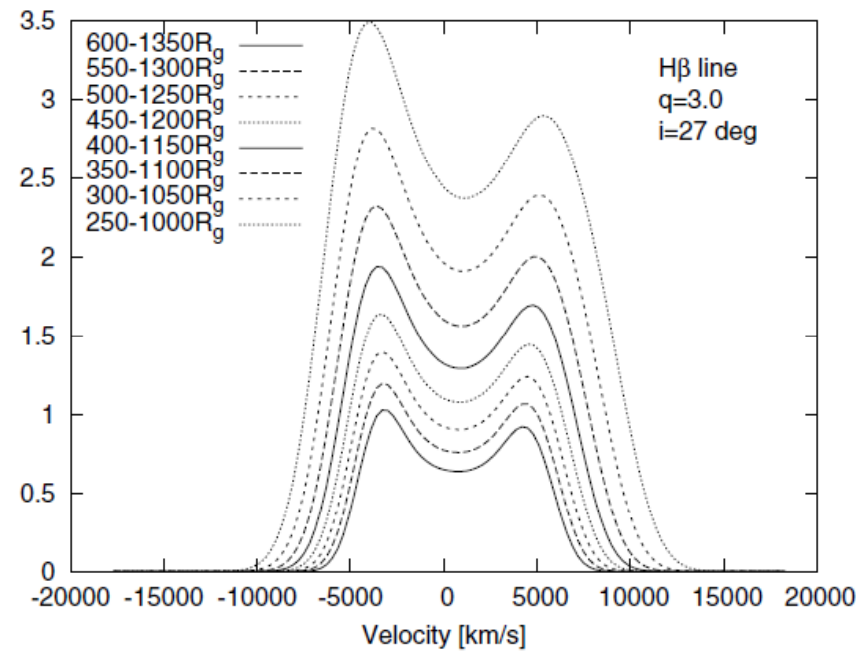
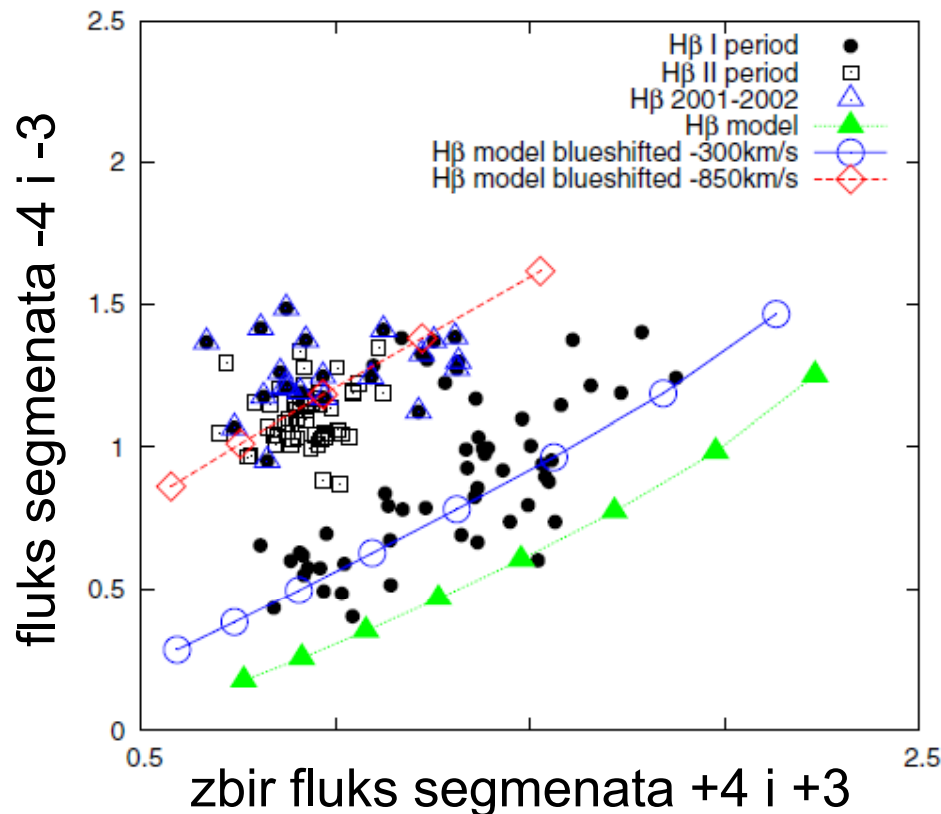


Popović, Shapovalova, Ilić,  
 Kovačević et al. 2011, A&A, 528,130



# 3c390.3 – MODELI

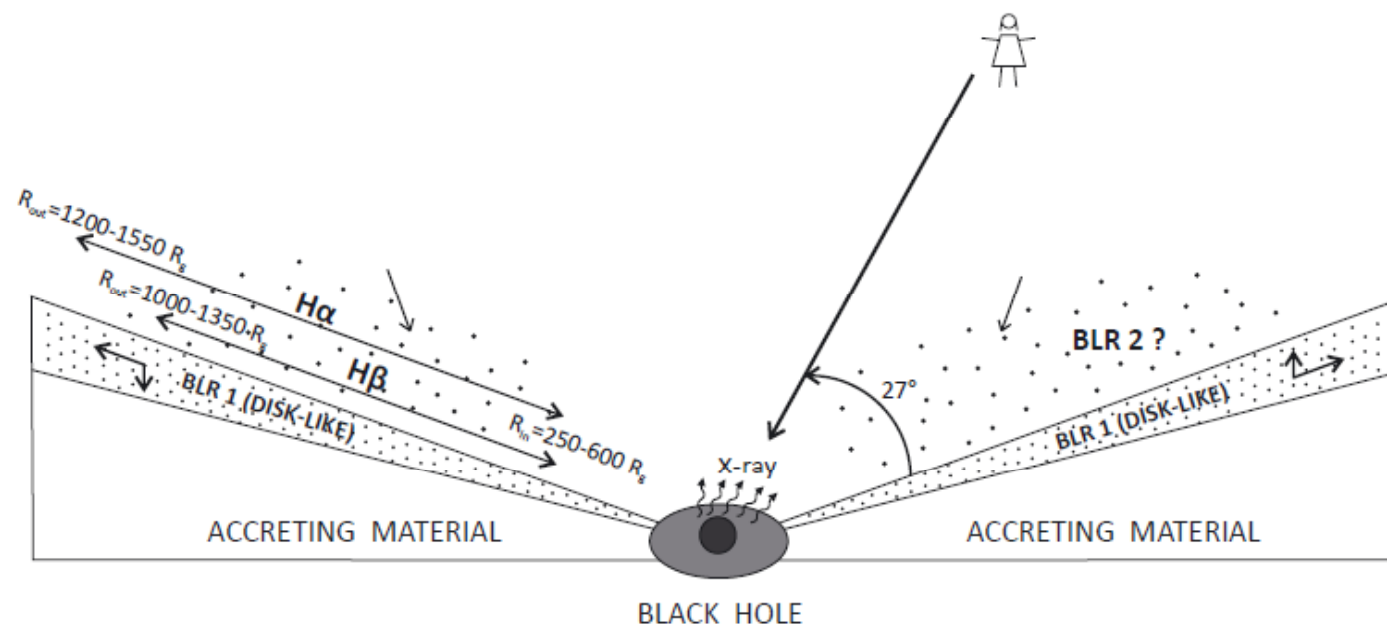
- o deo diska koji emituje linije pomeramo duž radijusa



- o modeli vs. posmatranja
- o **Period I**: promena se može objasniti promenom pozicije diska u odnosu na BH
- o **Period II** (tad počinje erupcija): disk se ne pomera

# 3c390.3 – DVE KOMPONENTE U BLR

- **diskolika BLR1** = optički gust akrecioni materijal, gde zračenje iz centralnog izvora može da fotojonizuje samo tanak deo iznad (ispod) debelog diska – oblast prati kinematiku diska
  - parametri linija zavise od dimenzija i lokacije oblasti u odnosu na crnu rupu u centru (promena  $R_{inn}$  i  $R_{out}$ )
- **BLR2?** – izbacivanje materije, deo džeta, vetar iz diska ...





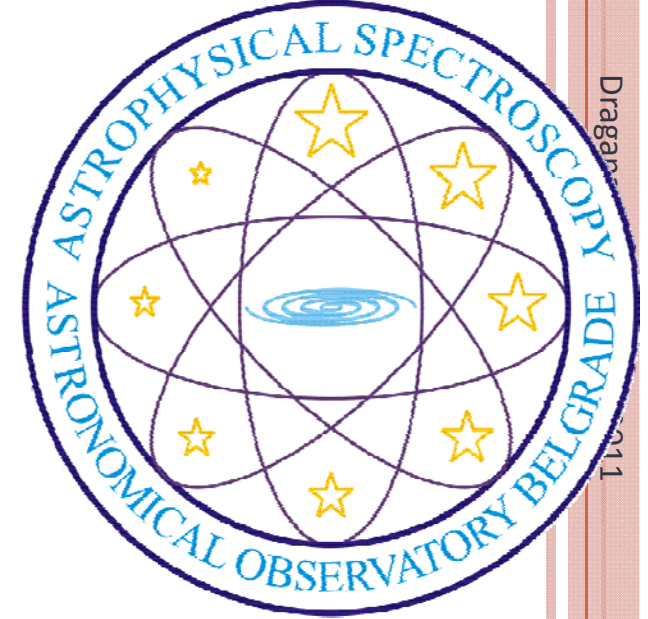
# REZIME

- širokolinijaska oblast je kompleksna
- različite komponente: disk, izbacivanje materije...
- doprinos drugih mehanizama (osim fotojonizacije) u formiranju linija  $\Rightarrow$  metod reverberacije treba koristiti sa oprezom
- mogućnost postojanja kvazi-periodičnih oscilacija kao kod zvezdanih crnih rupa
- moguće perturbacije u disku: udarni talasi, fragmenti spiralnih talasa u disku

# ASTROFIZIČKA SPEKTROKOPIJA NA KATEDRI I AOB



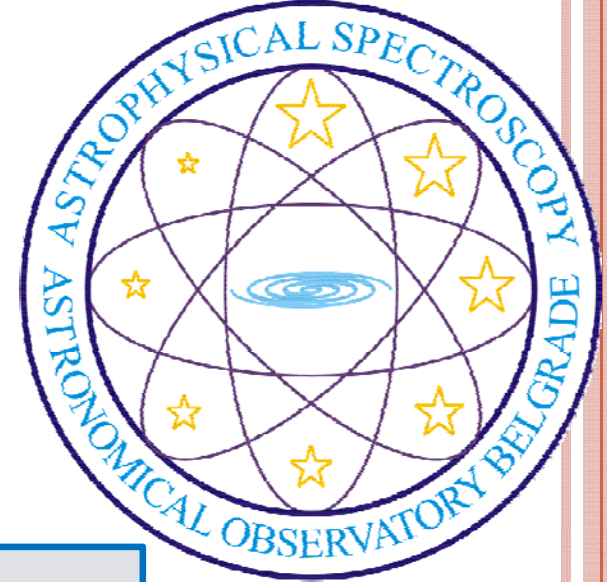
# ASTROFIZIČKA SPEKTROSKOPIJA NA KATEDRI I AOB



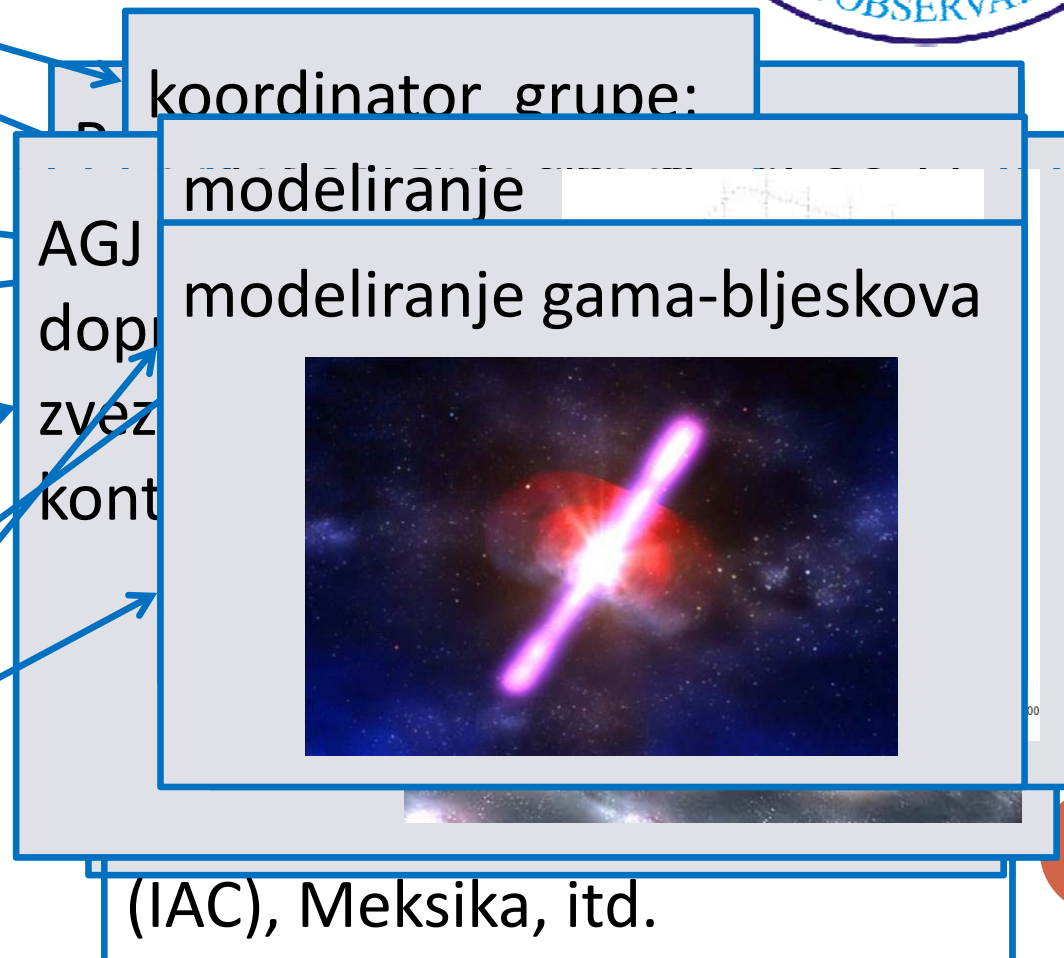
- 4 projekta finansirana od ministarstva
- 1. Astrofizička spektroskopija vangalaktičkih objekata (LP)
- 2. Uticaj sudara na spektre astrofizičke plazme (MD)
- 3. Gravitacija i struktura Kosmosa na velikim skalama (PJ)
- 4. Astroinformatika i virtualne opservatorije (DJ)



# VANGALAKTIČKA SPEKTROSKOPIJA NA KATEDRI I AOB

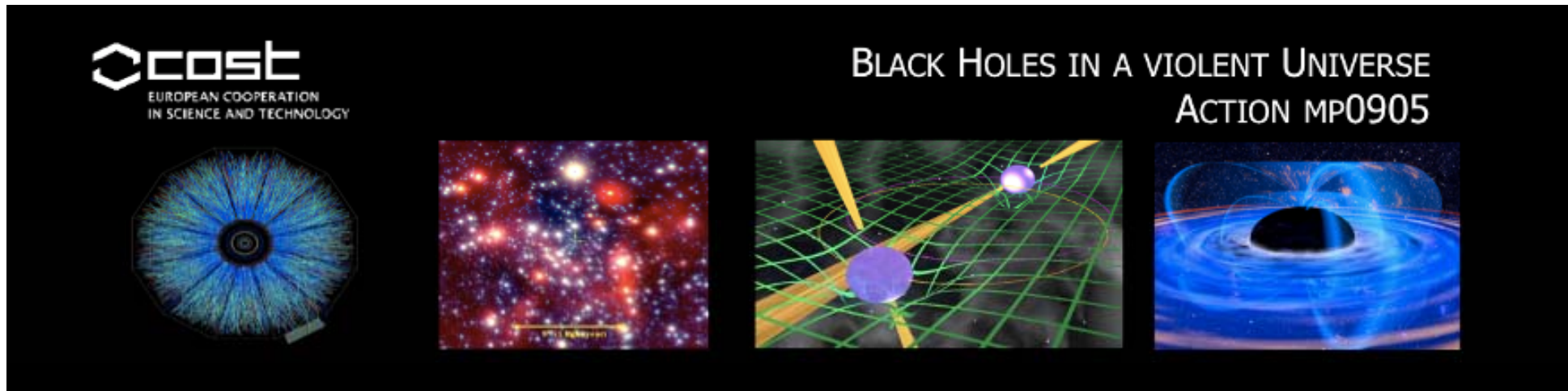


- Luka Popović
- Predrag Jovanović
- Edi Bon
- Anđelka Kovačević
- Dragana Ilić
- Nataša Bon
- Jelena Kovačević
- Marko Stalevski
- Saša Simić





# DEO COST AKCIJE (EU FP7, +19 ZEMALJA)



## 8th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics

Divčibare, Jun 6-10 2011

[www.scslsa.matf.bg.ac.rs](http://www.scslsa.matf.bg.ac.rs)





# Hvala na pažnji!

