

# Široke linije kod aktivnih galaksija: postoji li uticaj radio-mlazeva?

Dragana Ilić

Katedra za astronomiju, Matematički fakultet

u saradnji sa

Jonathan León-Tavares, Andrei Lobanov  
(Max-Planck Institute for Radioastronomy, Bonn, Germany)

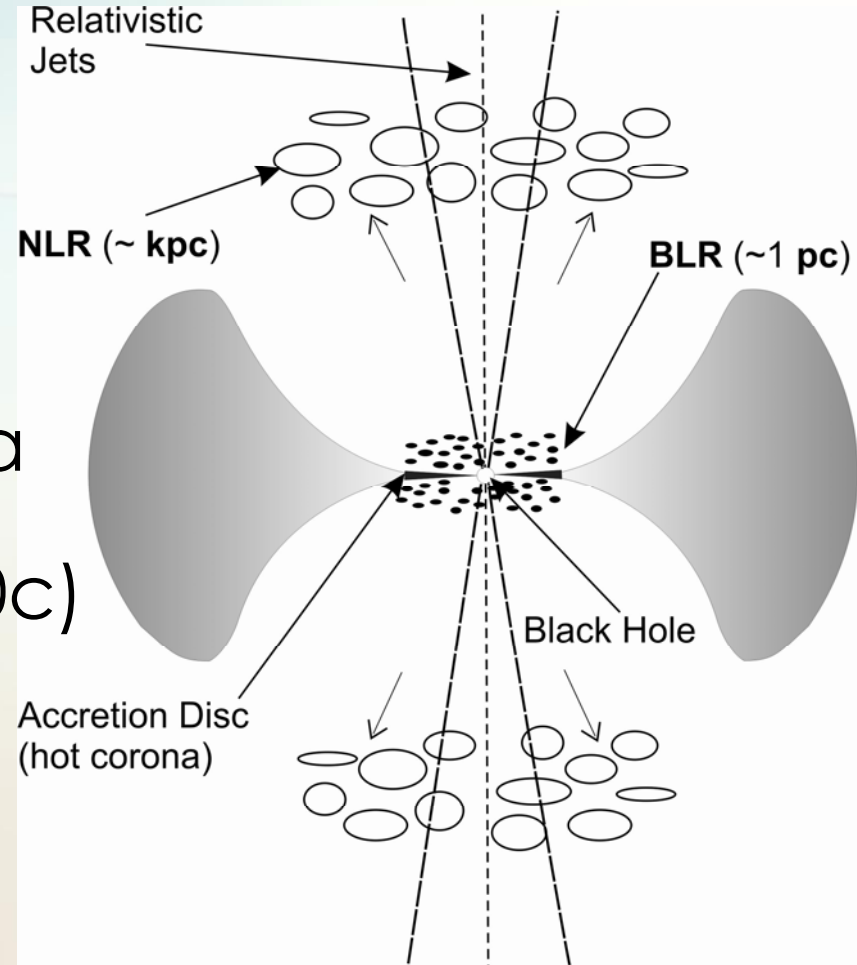
Luka Č. Popović  
(AOB)

# Plan predavanja

- AGJ
  - oblasti emisije linija
- Širokolinijska oblast
  - fizika
  - kinematika & struktura
- Veza između radio i optičke emisije:
  - NGC 4151
  - Mrk 668

# Aktivna Galaktička Jezgra

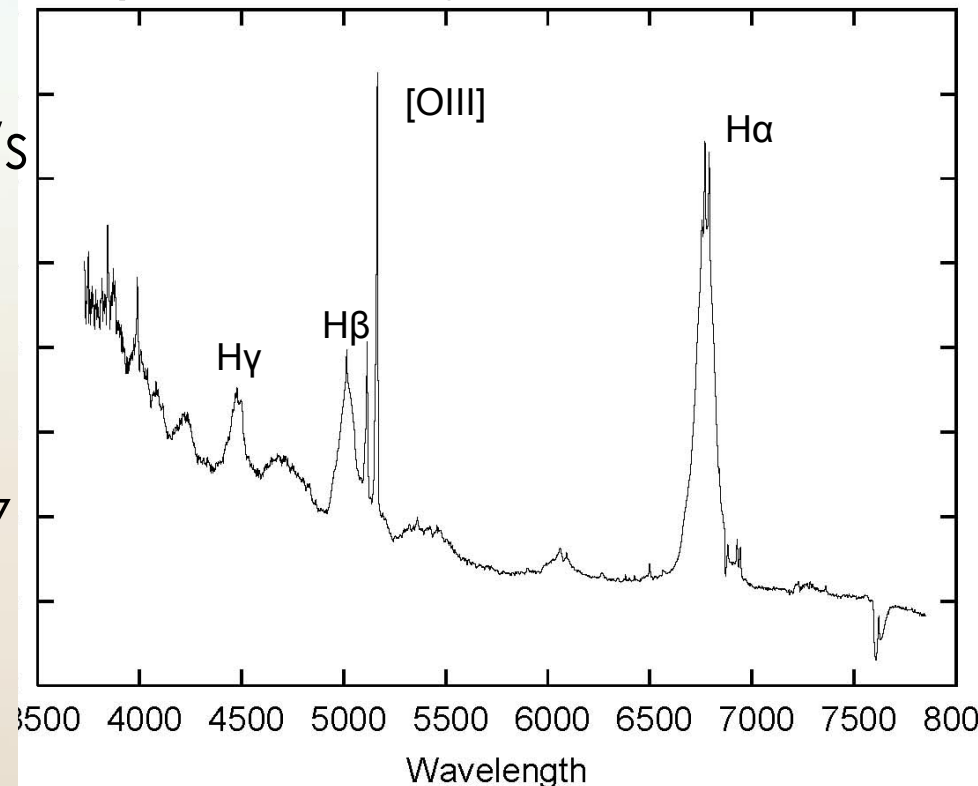
- velika luminoznost
- male dimenzije
- širok kontinuum
- promenljivost; polarizacija
- radio-mlazevi ( $\beta_{\text{app}} \sim 10-40c$ )
- jake emisione linije
- mnogo različitih tipova
- AGJ fenomen – svuda prisutan!



# Emisione Linije (EL)

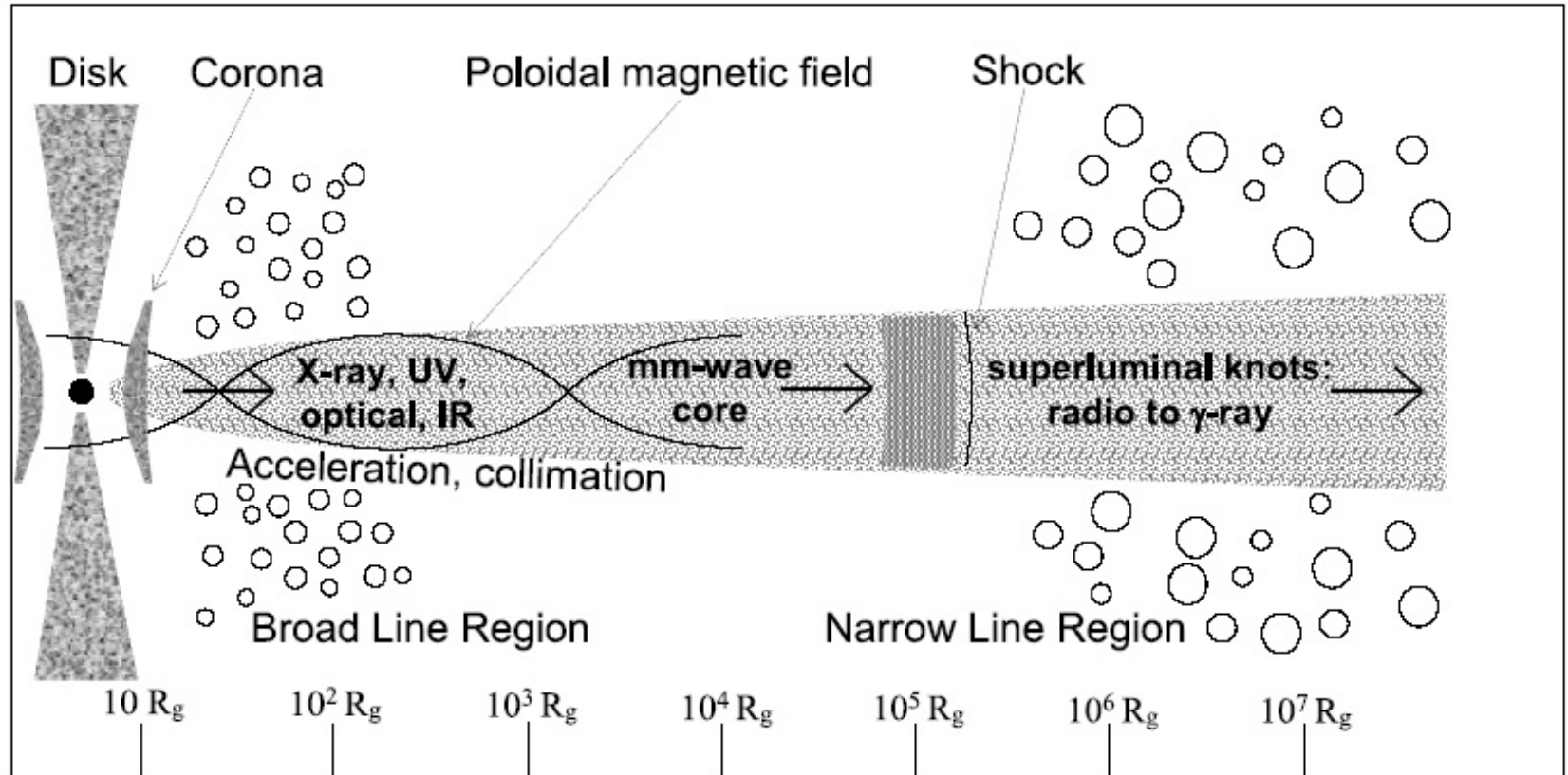
- Široke Emisione Linije (BEL) – samo dozvoljene
  - FWHM  $\sim$  2000 - 5000 km/s  
(ali u X-domenu FeKa linija  $\sim$  par 10000 km/s)
- Uske Emisione Linije (NEL) - dozvoljene & zabranjene
  - FWHM  $\sim$  200 - 700 km/s

Balmerove linije kod Mrk 817



# AGJ struktura

Akreциони disk/korona – oblasti emisije linija - džetovi



(Lobanov 2007; Marscher 2005)

# Šta nam govore EL?

- Fizički uslovi u oblasti

- temperatura
  - koncentracija
  - stepen jonizacije
- } - odnosi linija  
- prisustvo/odsustvo nekih linija

- Kinematika oblasti

- brzine (širine linija)
- dimenzije (reverberacija – kašnjenje)

• geometrija (oblici linija)

# Šta nam govore EL?

- Masa crne rupe  $M_{BH}$ :

teorema virijala + reverberacija ( $L \sim R_{BLR}^k$ )

$\Rightarrow M_{BH}$  iz luminoznosti ( $R_{BLR}$ ) & FWHM

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

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

- $k = 0.50 - 0.88$  (0.5 – fotojoniz. teorija)

(pregledni članak McGill et al. 2008)

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

# Širokolinijska oblast – BLR

- fotojonizacija (glavni izvor zagrevanja?)
- pod uticajem jake gravitacije
- jonizacioni parametar  $U \sim 10^{-3} - 10^{-2}$
- $T_e \sim 10^4 \text{ K}$       $N_e \sim 10^9 - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$
- plazma je sličnija zvezdanim atmosferama nego fotojonizacionim maglinama (Osterbrock 1989)



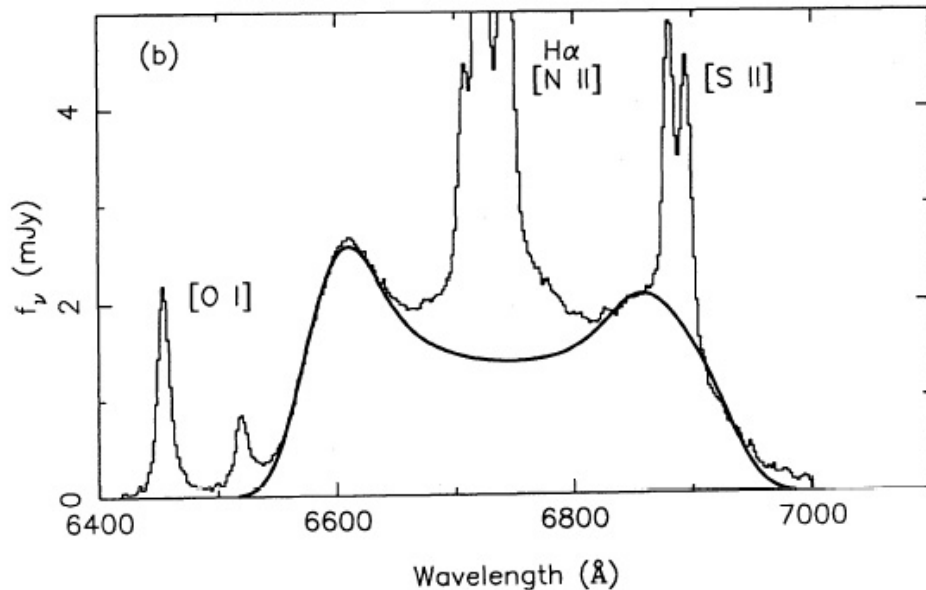
# BLR

- dimenzije ~ od sv.dan do sv.nedelja
- kompleksni profili linija (velike širine; linije sa dva pika; asimetrija) => kompleksna i stratifikovana oblast
- najmanje dve odvojene emitujuće oblasti (Murray & Chiang 1997; Sulentic et al. 2000):
  - High Ionization Lines (HIL) – CIV 1549, HeII 4686, HeII 1640
  - Low Ionization Lines (LIL) – Balmerove linije, FeII linije, MgII 2800

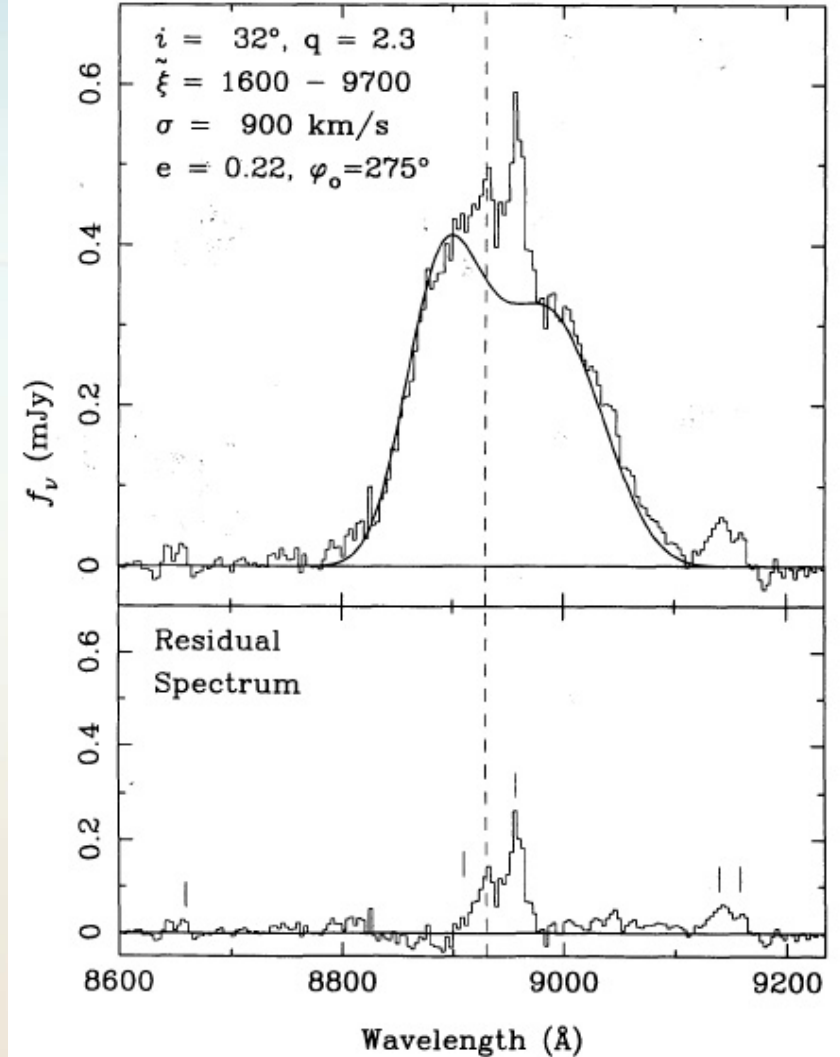
# BLR - geometrija

- **Dvojna supermasivna crna rupa**  
(Gaskell 1983, 1996)
- **Konusno izbacivanje materije**  
(Zheng et al. 1990; Marziani et al. 1996)
- **Akreциони disk**  
(Chen et al. 1989; Eracleous et Halpern 1994; Strateva et al. 2003)
- **Akreциони disk + vetar**  
(Murray & Chiang 1995, 1997)
- **Lokalno-optimalno emitujući oblaci gasa**  
(Baldwin et al. 1995; Korista & Goad 2000)
- **Dvo-komponentni model: disk + sferna oblast**  
(Popović et al. 2002, 2003, 2004)

# Linije sa dva pika



Akn 120 (Chen et al. 1989)  
Keplerovski disk

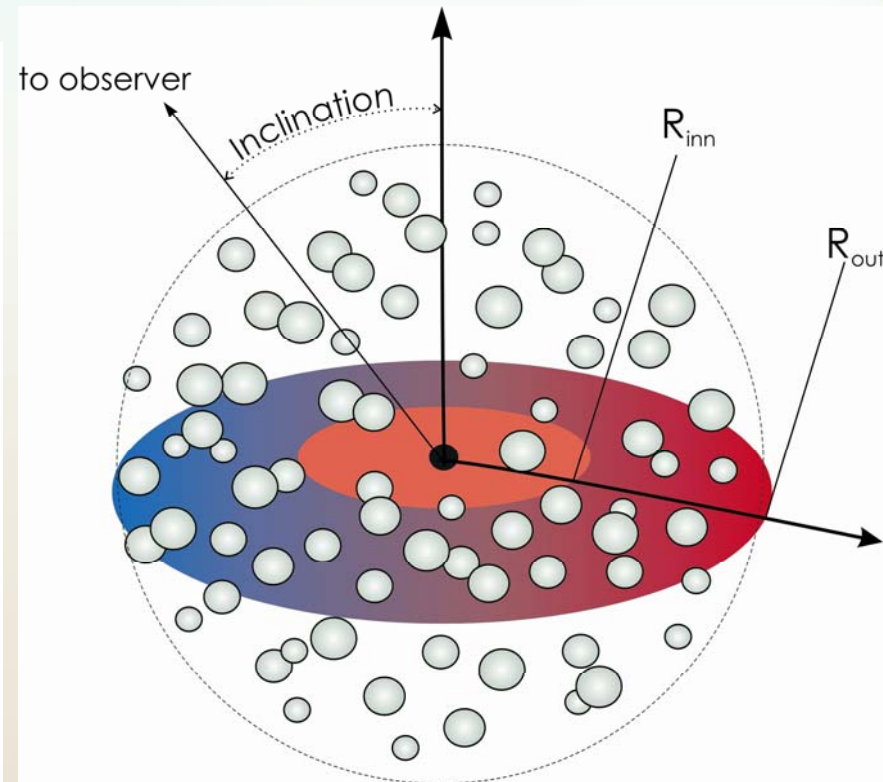
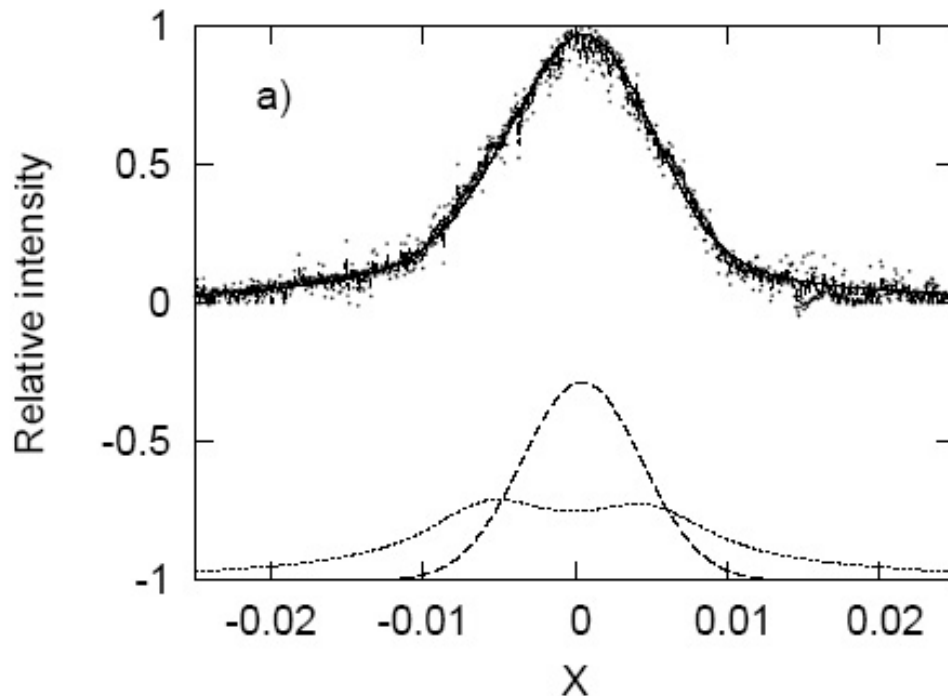


PKS 0857-19 (Eracleous et al. 1995)  
Eliptični disk

# Linije sa jednim pikom

- Keplerovski disk + sferna oblast

(Popović et al. 2004; Ilić et al. 2006; Bon et al. 2006)



# Izbacivanja u BLR

- Konusno izbacivanje (Zheng et al. 1990, 1991)
- Izbacivanje oblaka (pod uticajem pritiska zračenja) (Marziani et al. 1993)

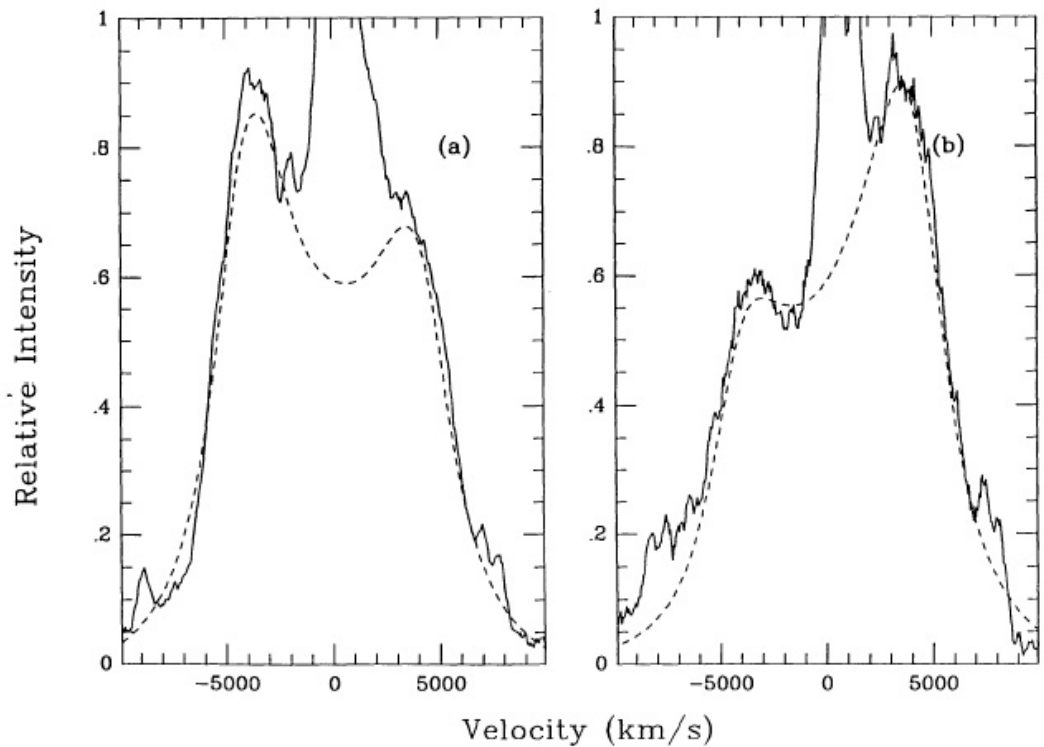
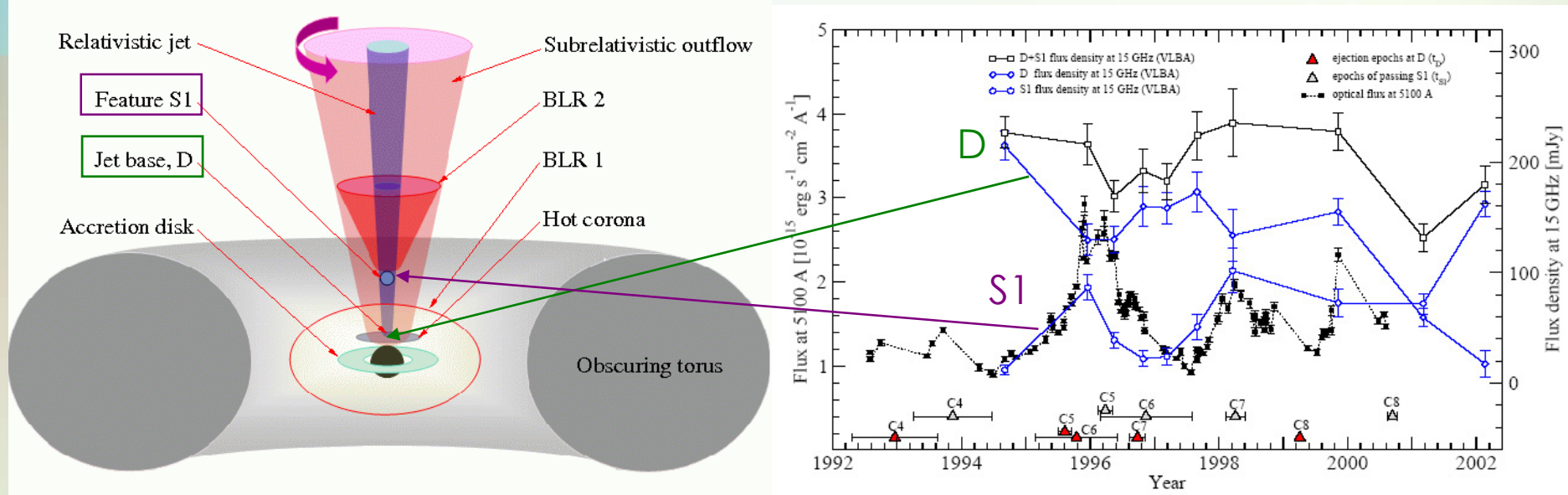


FIG. 2.—Double-stream model fit to the H $\alpha$  profile in (a) 1976, and (b) 1980

3c390.3  
(Zheng et al. 1990)

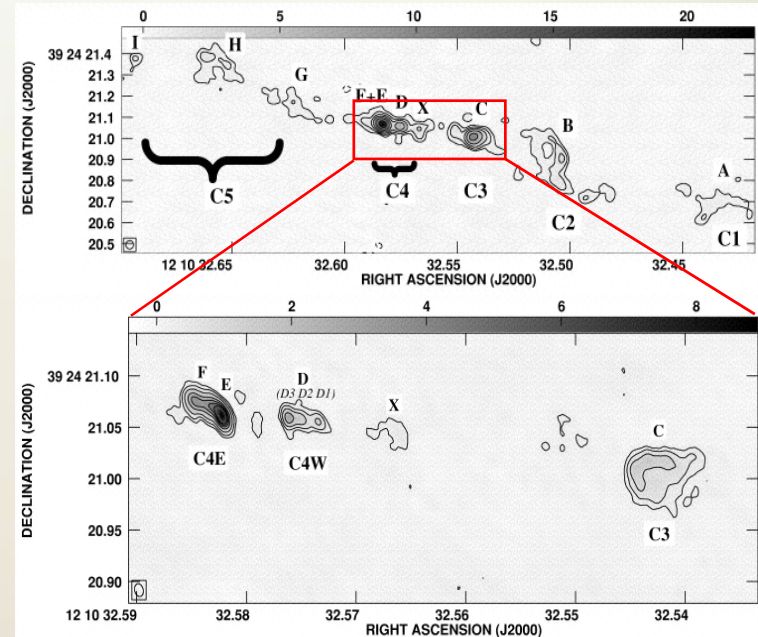
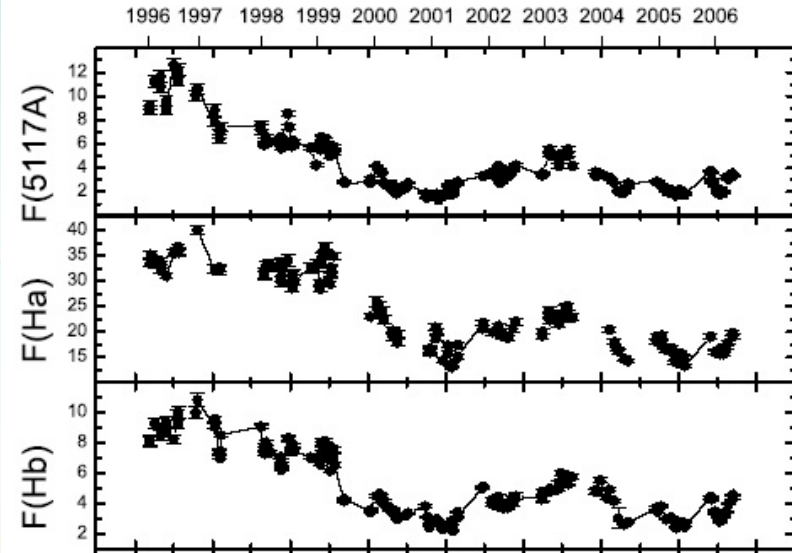
# Primer 3c 390.3

- emisija optičkog kontinuuma na  $5100 \text{ \AA}$  prati emisiju radio-komponenti D & S1 u radio-mlazu  
(Arshakian et al. 2006; León-Tavares et al. 2007)

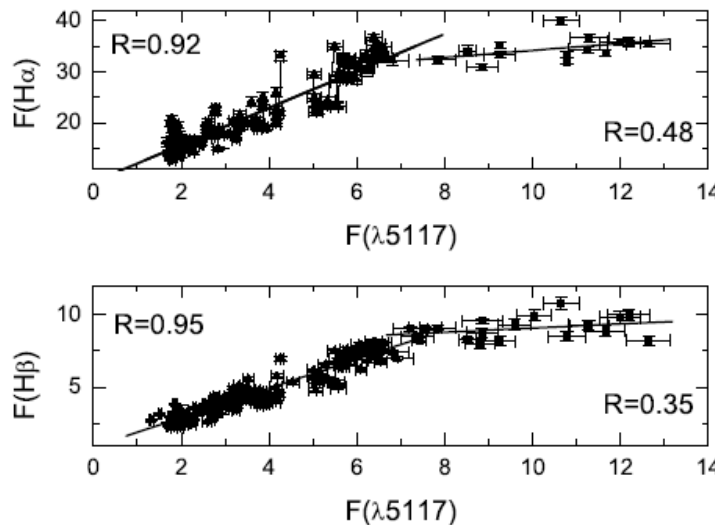


# NGC 4151

- jako promenljiv izvor u optičkom kontinuumu & emisionim linijama (Peterson 1988; Sergeev et al. 2001)
- posmatrana 11 godina (1996-2006) sa:
  - 6-m & 1-m SAO teleskopi (Rusija)
  - GHAO 2.1-m teleskop (Cananea, Meksiko)
  - OAN-SPM 2.1-m teleskop (San-Pedro, Meksiko)
- BLR vrlo malih dimenzija  $\sim 0 - 2$  sv.dana (Shapovalova et al. 2008 poslato u A&A)
- posmatran radio-mlaz dimenzija parseka (Mundell et al. 2003; Ulvestad et al 2005)



# NGC 4151



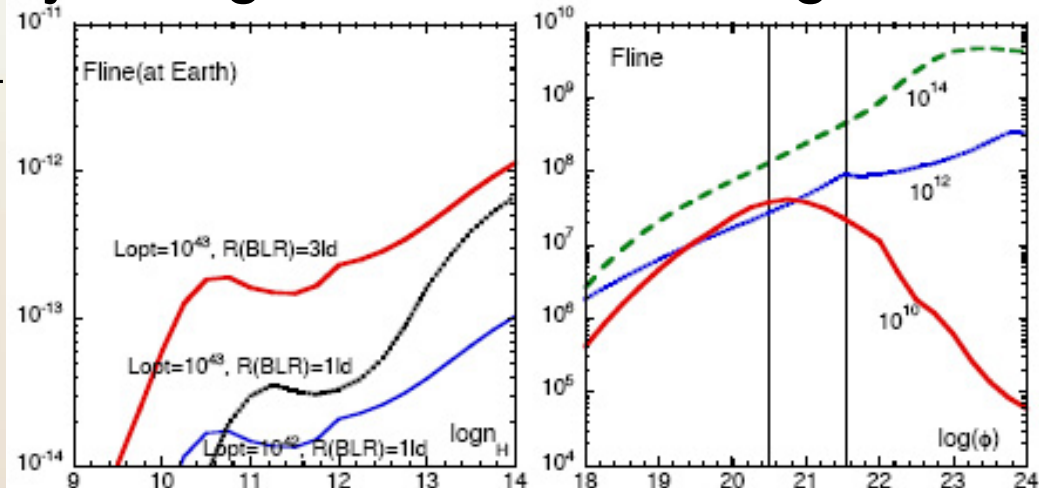
zasićenje fluksa linija u slučaju jakog kontinuuma

$$F_{\text{obs}}(\text{H}\beta) = (2.3-9.8) \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

- izračunat odgovor fluksa u linijama na promene u kontinuumu uz pomoć fotojonizacionog modela => **posmatrani fluks u linijama je mnogo veći od izračunatog!**

- ne-fotojonizaciona oblast doprinosi širokim linijama (možda je povezana sa radio-mlazom)

(Shapovalova et al. 2008, poslato u A&A)



Fluks linija vs. koncentracija (levo) i jonizacioni fluks (desno)



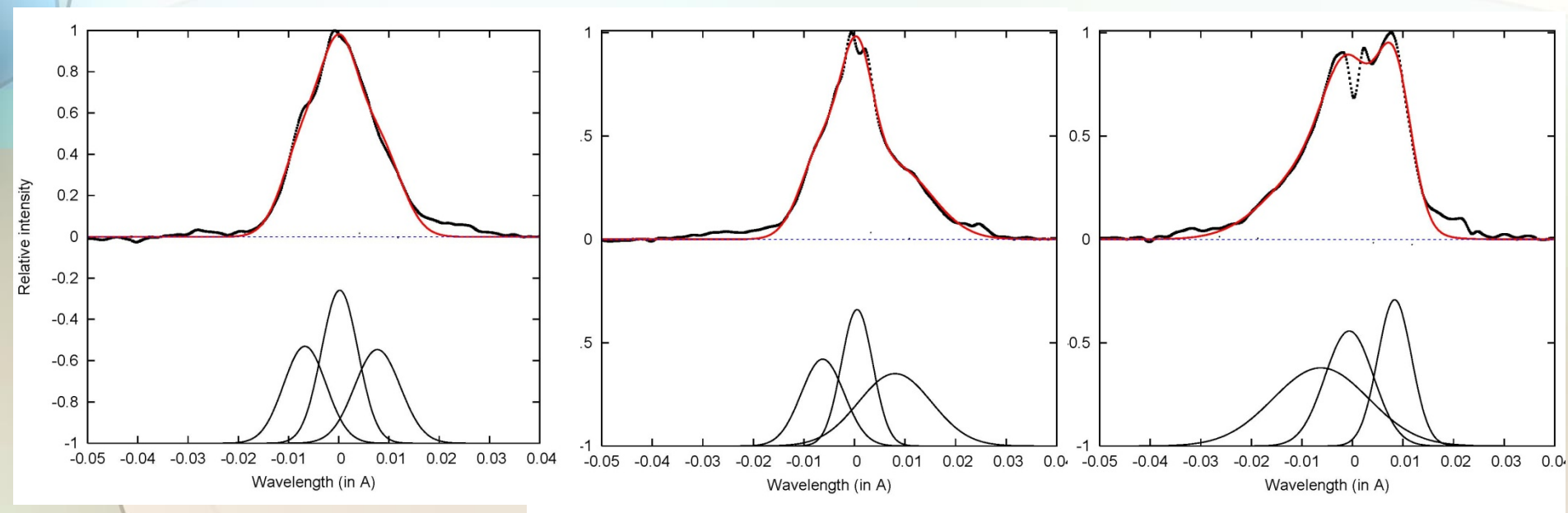
# NGC 4151

- profili široke komponente se jako menjaju

Jun 1998

Jan 2001

Feb 2006



(Popović et al. u pripremi)

# Model izbacivanja materije

- izbacivanje – ubrzavanje do  $R_a$ , a zatim brzina opada
- gravitacioni crveni pomak
- funkcija emisivnosti  $\rightarrow$

$$\varepsilon(r) = \varepsilon_0 \left( \frac{R_e}{r} \right)^p$$

- 
- intenzitet duž profila linije:

$$I(\lambda) = \frac{1}{R_0 - R_i} \int_{R_i}^{R_0} \varepsilon(r) \cdot \exp \left( - \left( \frac{\lambda - \lambda_0 - \Delta\lambda_r(r) - \Delta\lambda_g(r)}{w(r)} \right)^2 \right) dr$$

# Polje brzina

Radijalna

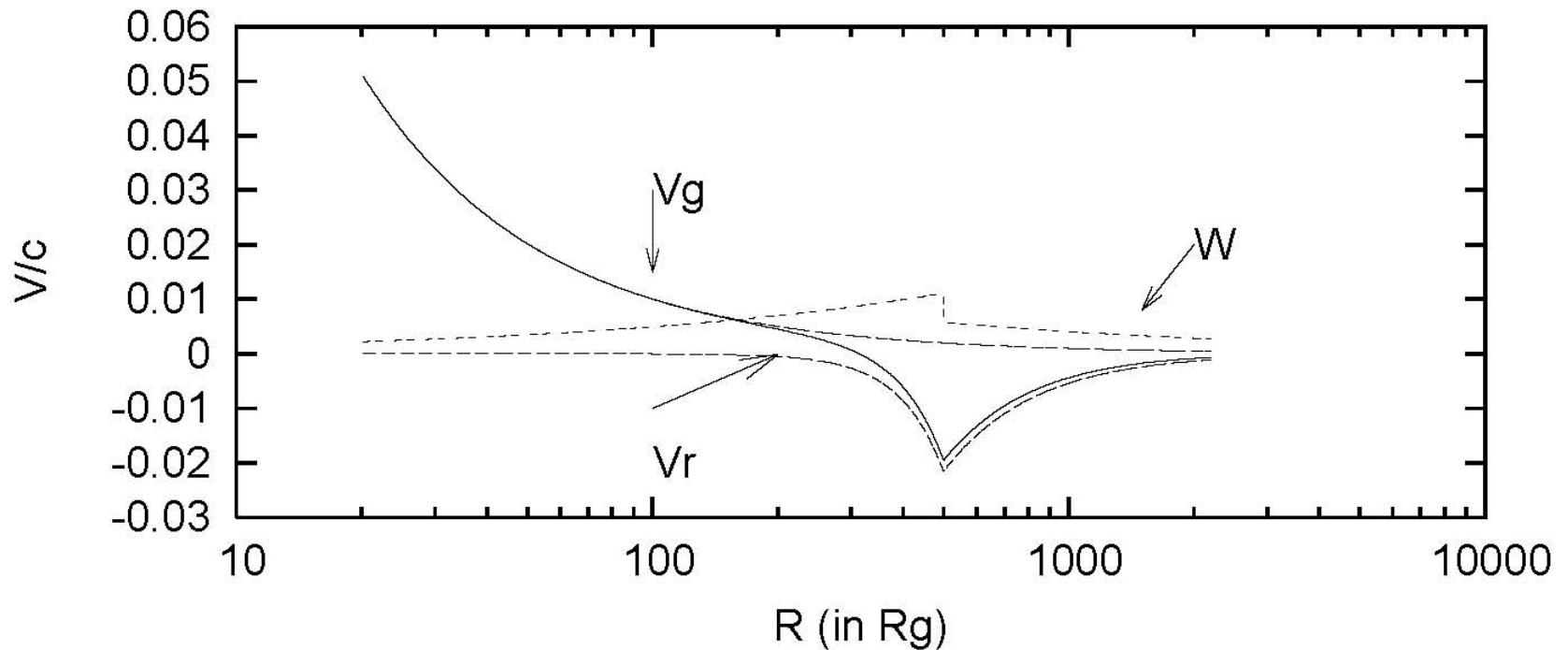
$$V_r = \frac{\Delta\lambda(r)}{\lambda_0} c$$

Slučajna

$$w(r) = \frac{V_{ran}(r)}{c} \lambda_0$$

Gravitaciona

$$V_g = \frac{\Delta\lambda_g(r)}{\lambda_0} \cdot c = \left( -1 + \sqrt{1 - \frac{2}{r}} \right) \cdot c$$



# NGC 4151

- Ha linija iz 3. perioda
  - model (puna linija)
  - posmatranja (tačkice)

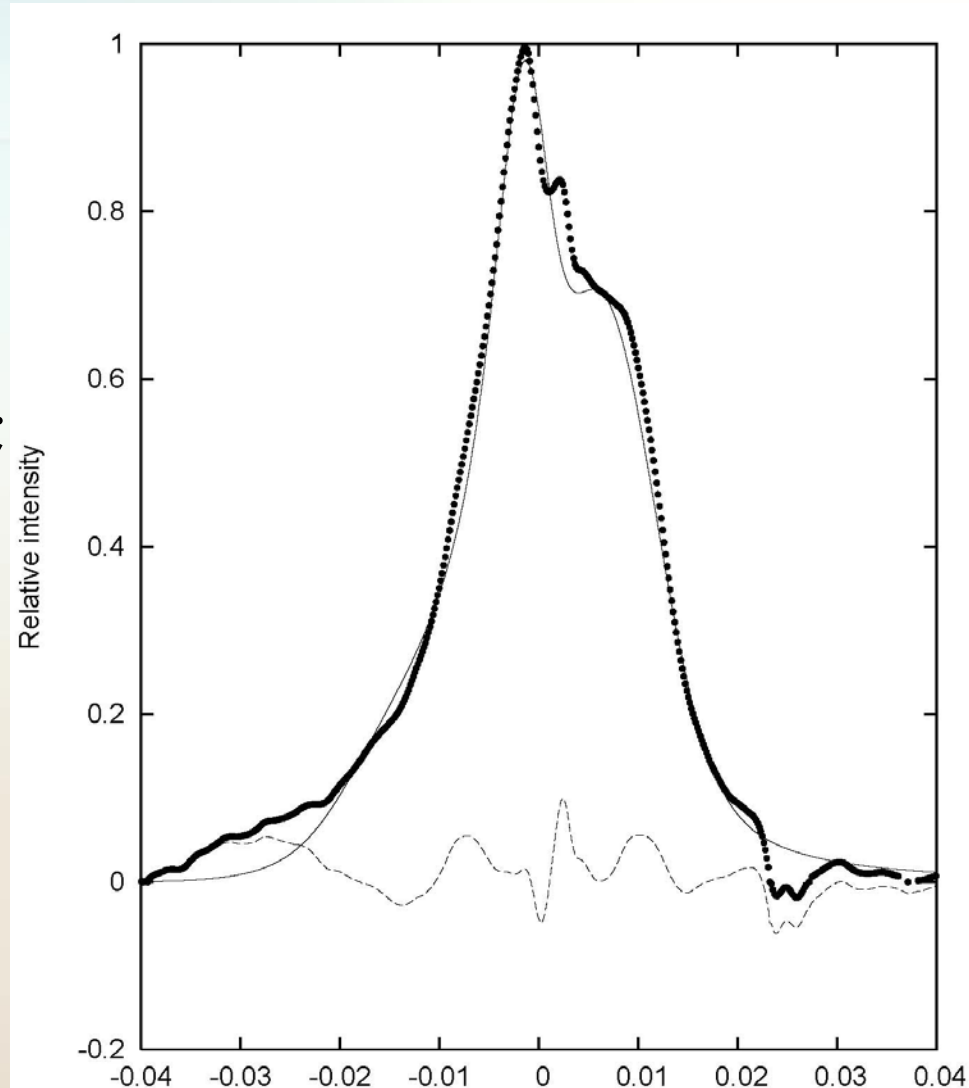
- Parametri modela:

$$R_{inn}=20 R_g; R_{out}=2200 R_g;$$

$$R_a=500 R_g; R_e=260 R_g;$$

$$W_0/\lambda=0.008$$

(Popović et al.  
u pripremi)



# Mrk 668

- širokolinijska radio-galaksija
- jako specifični oblici širokih linija (Osterbrock & Cohen 1979)
- pomerenje crvenog pika u Ha liniji
- BLR modelirano sa:
  - sferna oblast + konusno izbacivanje (Marzian et al 1993)
  - eliptični akrecioni disk + perturbacija (Gezari et al. 2007)

# Mrk 668 - BLR modeli

- Marziani et al. 1993

krila linije-sferno raspoređeni oblaci;

uska ljuska u obliku mlaza:

$$i=0^{\circ}-30^{\circ}; \Theta_0=12^{\circ}; R_{\min}=10^4 R_g; R_{\max}=10^5 R_g$$

(emisija gausijan - max na  $R=R_{\min}$  i širina  $2\sigma^2=0.181R_{\min}^2$ )

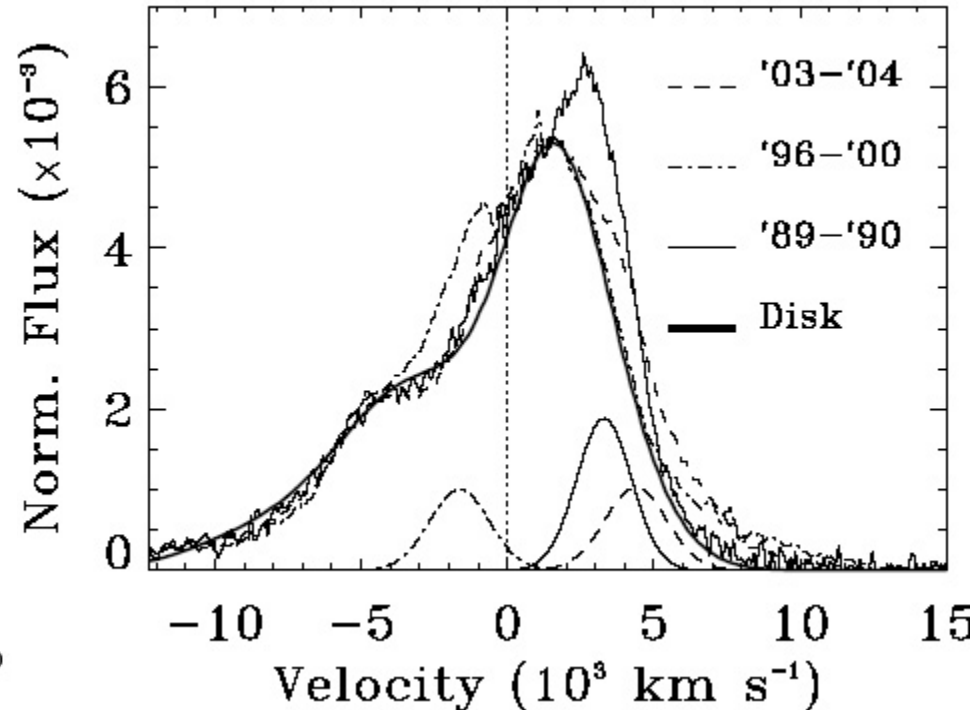
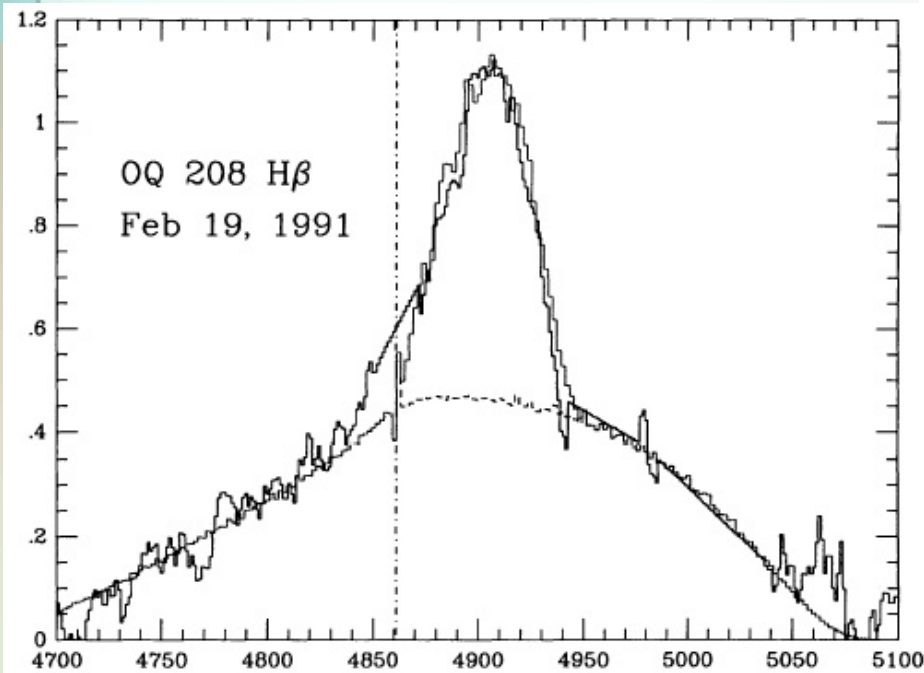
- Gezari et al. 2007

ekscentrični disk (ne varira):

$$i=35^{\circ}; \xi_i=200; \xi_o=3000; q=1.7; \sigma=1500\text{km/s}; e=0.6; \varphi=60^{\circ}$$

gausovski eksces:

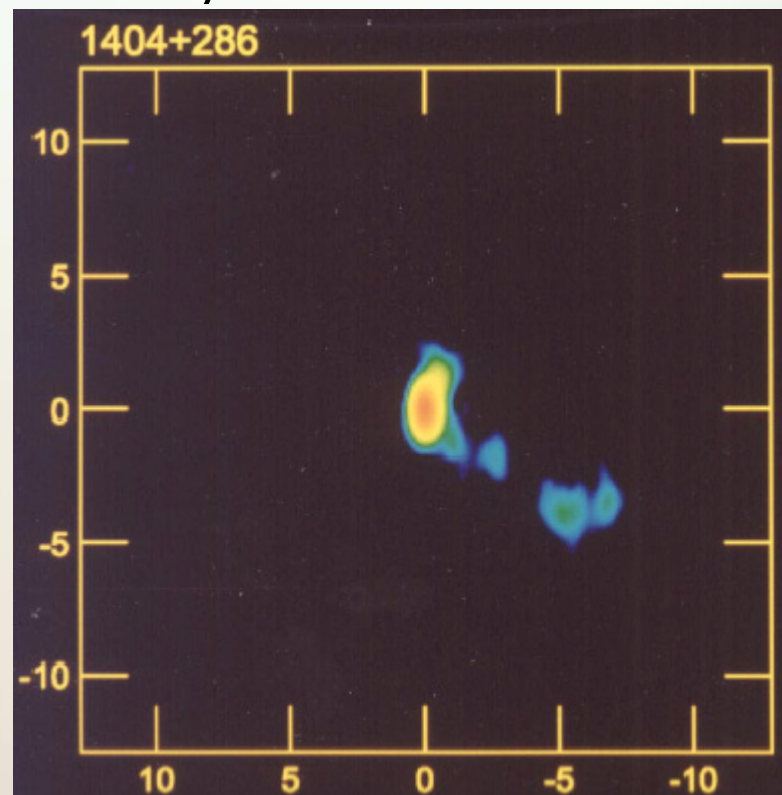
$$z\sim[-1800,+4400]\text{km/s}; w\sim 2000\text{ km/s}$$



# OQ208 (J1404+286)

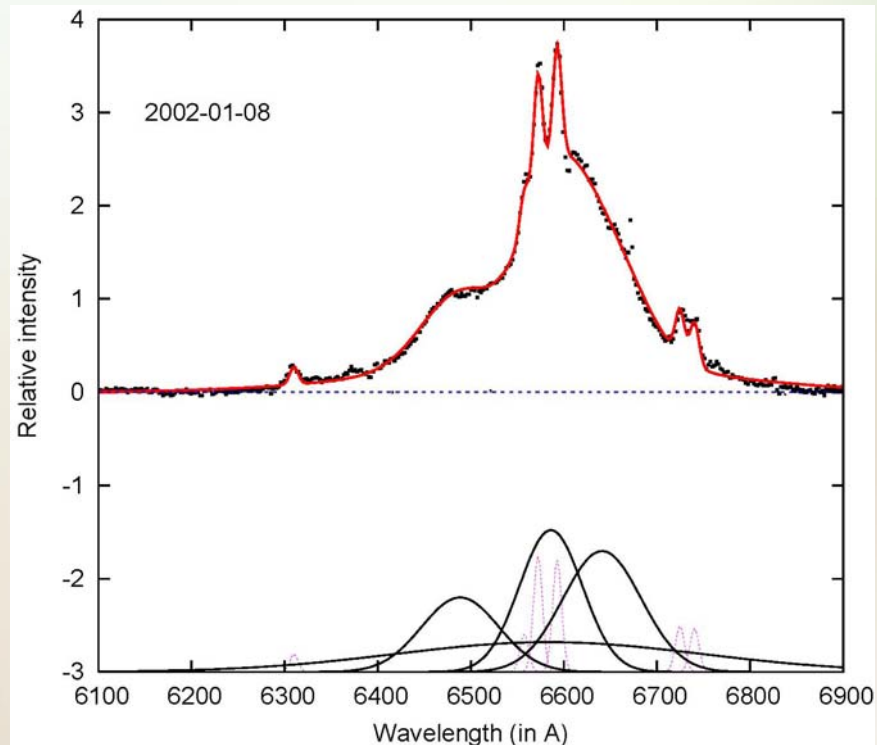
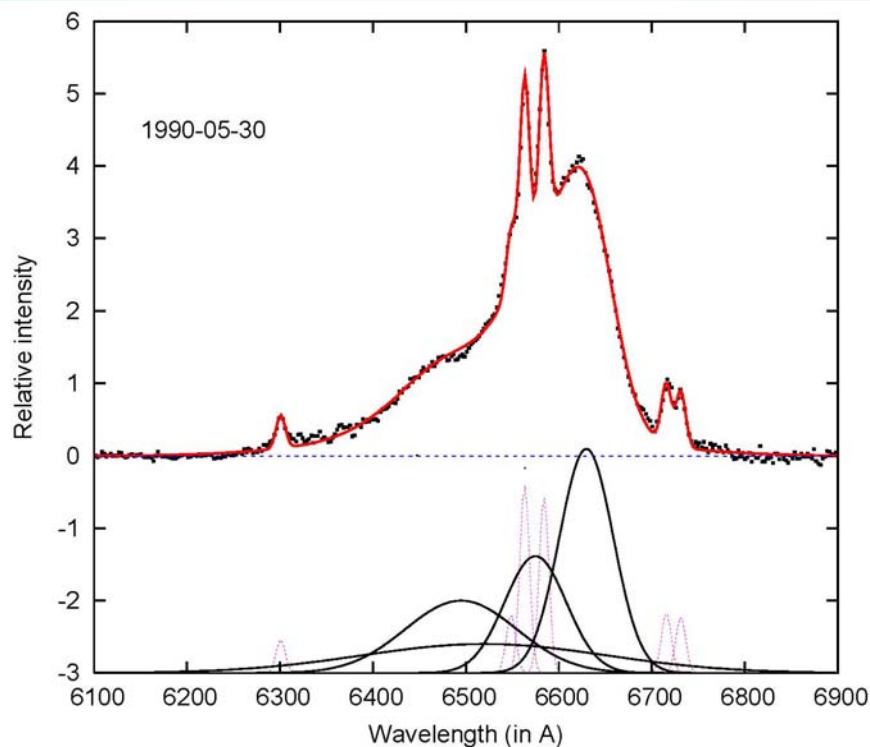
- mnogo posmatran objekat - VLBI kalibrator
- GPS radio-izvor (Stanghellini et al. 1997), ali klasifikovan kao i CSO (Kellermann et al. 1998; Stanghellini et al. 2001)
- modeli radio-mlazeva (SSA ili FFA):  
 $\beta \approx 0.33c$  i  $\theta \approx 33^\circ$ ;  
radio-aktivnost  
samo 92 god!  
(Xie et al. 2005)

VLBA slika na 15GHz  
(Kellermann et al. 1998)



# Mrk 668 – optički podaci

- dekompozicija na Gausijane širokih linija iz perioda od **18 godina** (podaci dobijeni od M. Eracleous; poslednje 2 god sa GHAO 2.1-m teleskopom, Meksiko)
  - izdvojene samo široke linije
  - mereni pomeraji plavog i crvenog pika
  - mereni relativni fluksevi linija (normalizovani na [SII] lines)





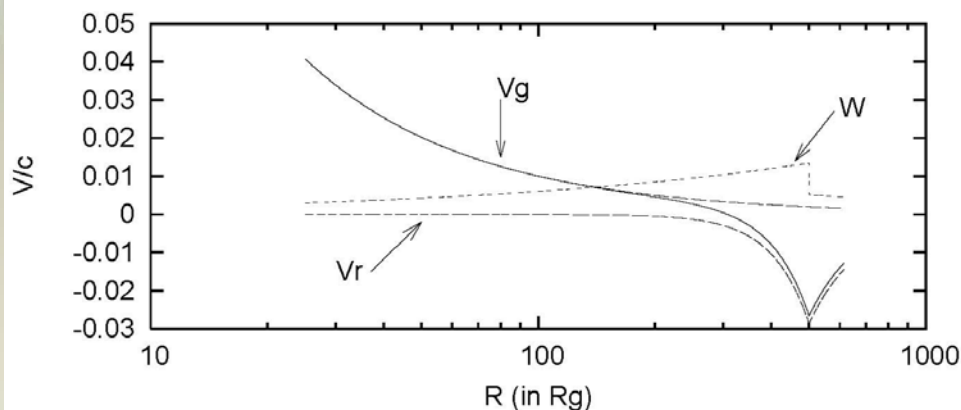
# Mrk 668 – model izbacivanja

- parameteri modela:

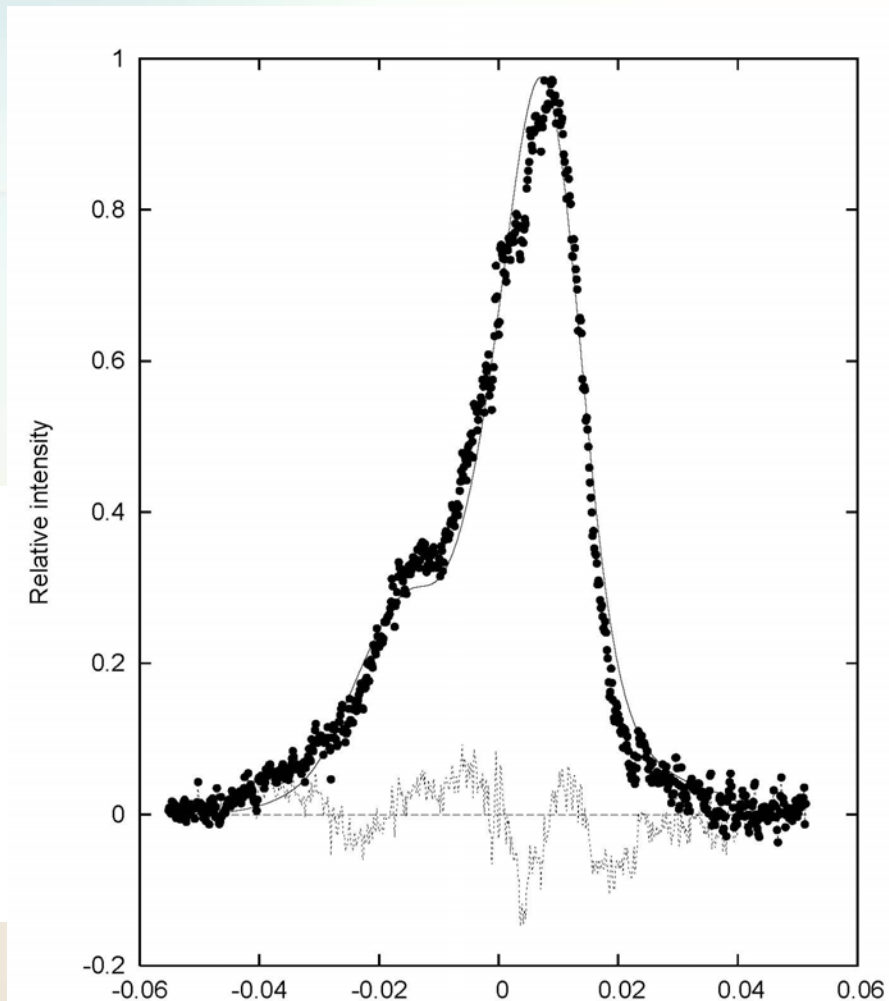
$$R_{inn}=25 R_g; R_{out}=615 R_g;$$

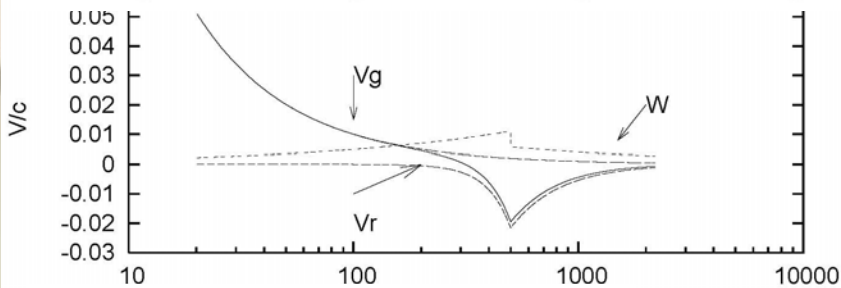
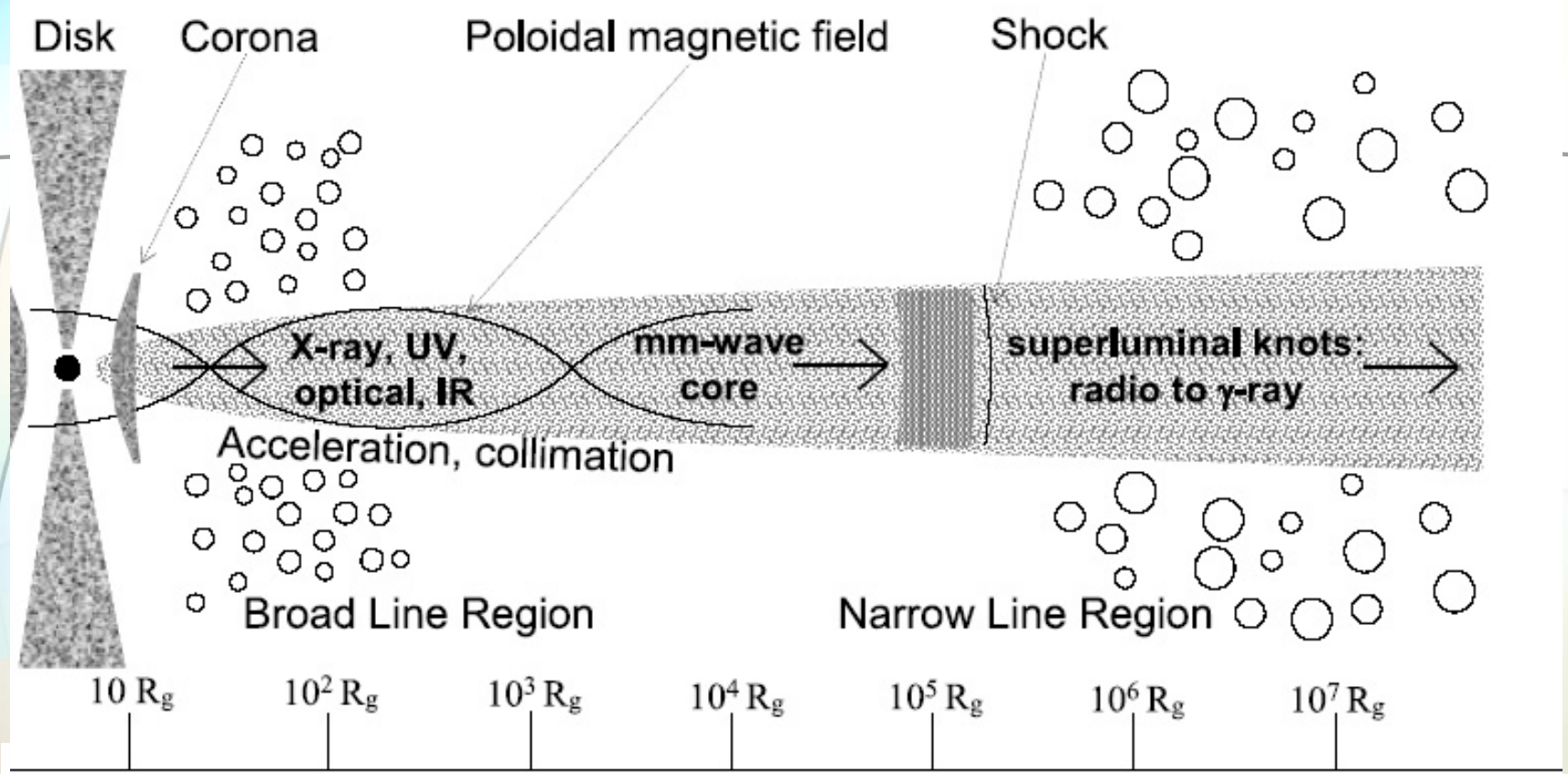
$$R_a=500 R_g; R_e=190 R_g;$$

$$W_0/\lambda=0.0083$$

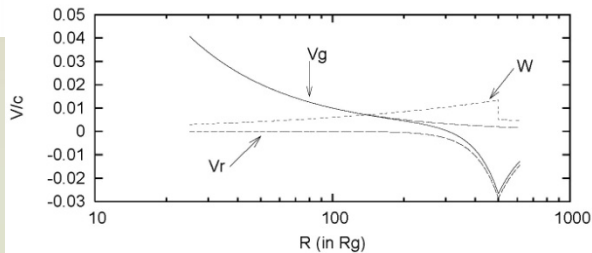


(Ilić et al. u pripremi)





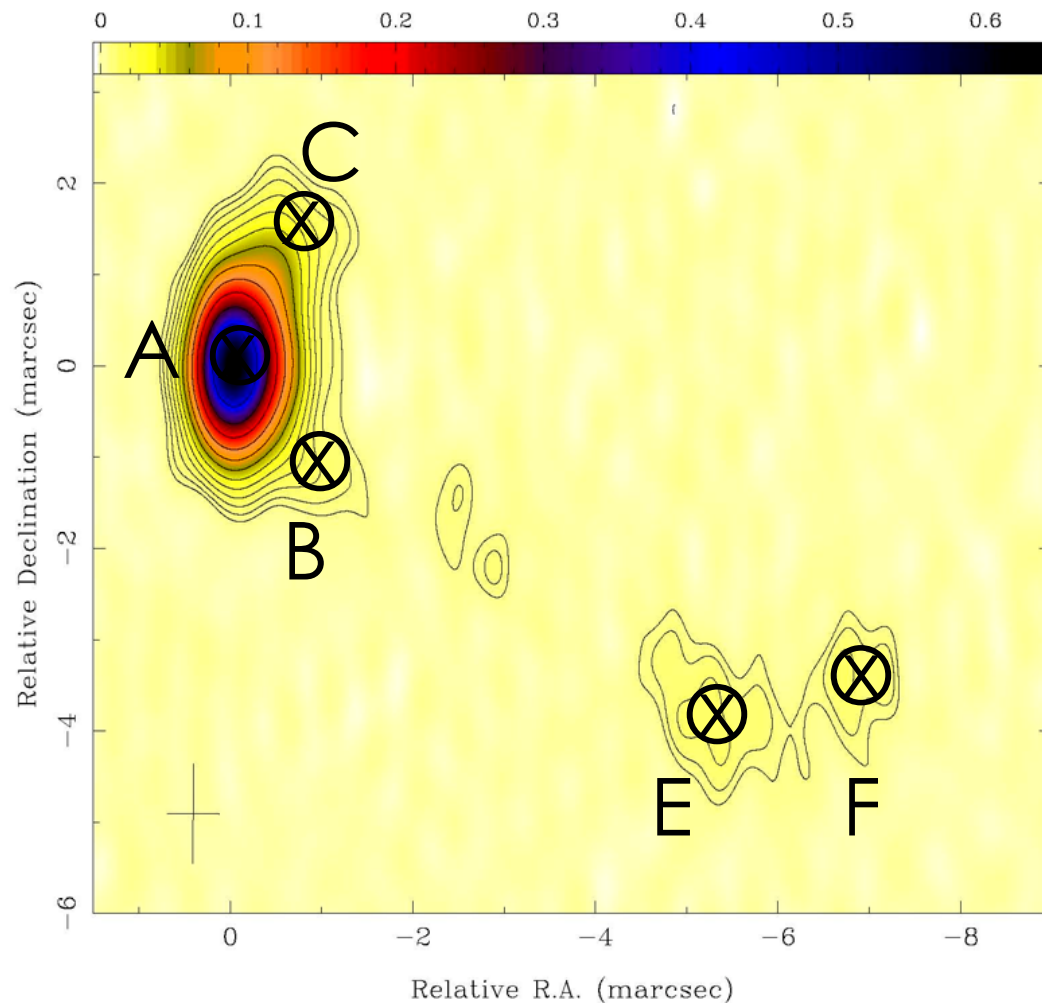
NGC 4151



Mrk 668

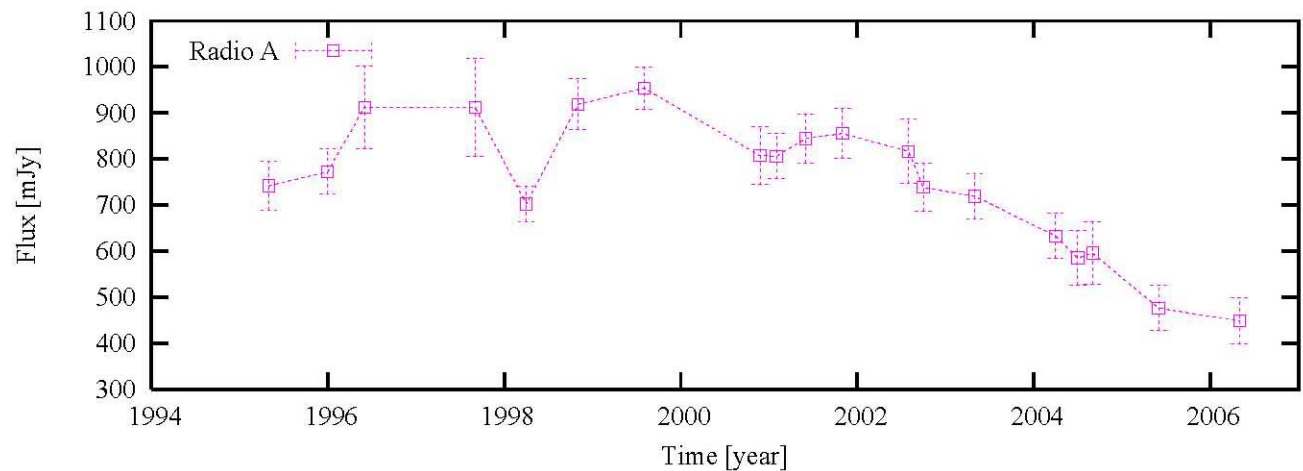
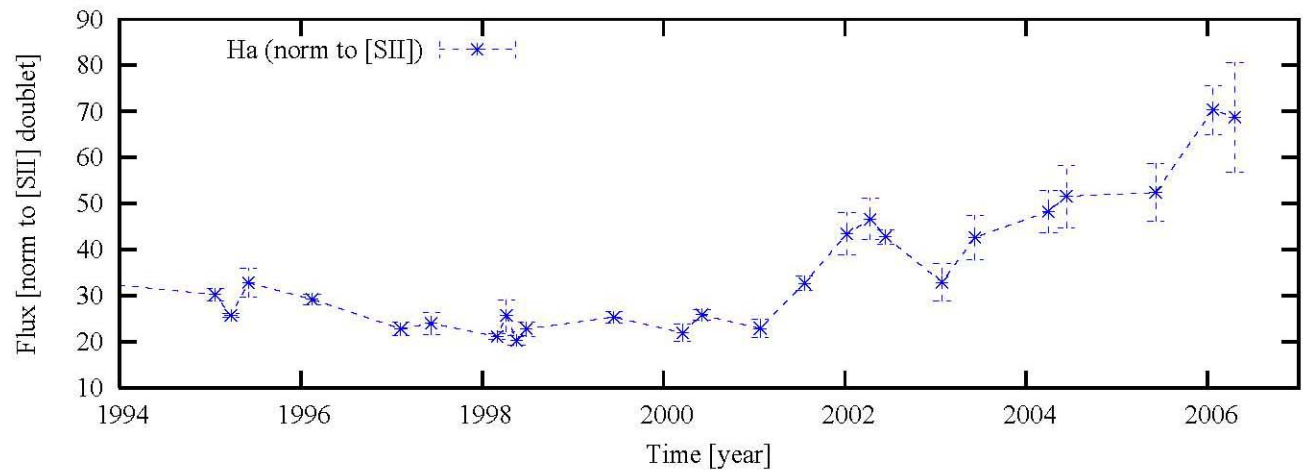
# Mrk 668 – radio podaci

- razlaganje na komponente radio-mlaza dimenzija parseka (VLBA posmatranja 1995-2006)
- 2cm  
MOJAVE  
pregled neba
- A-komp: jezgro?  
(León-Tavares et al. – u pripremi)



# Mrk 668 – opt vs. radio

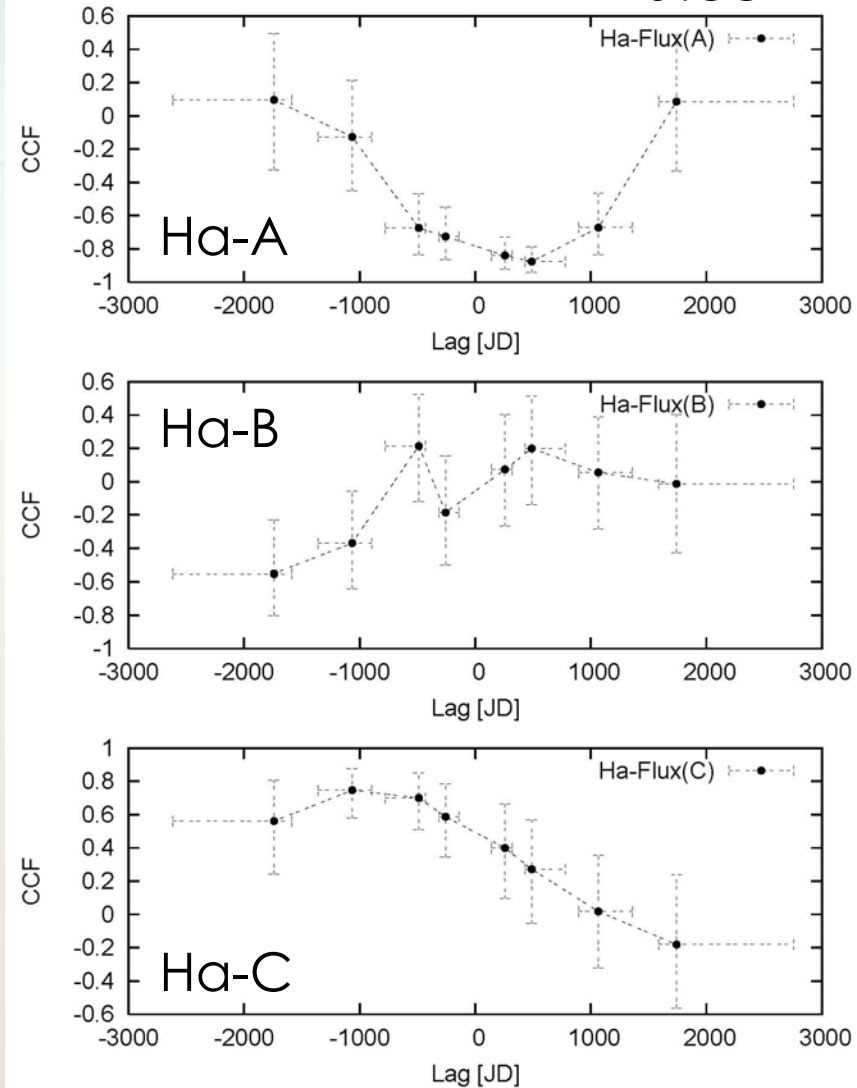
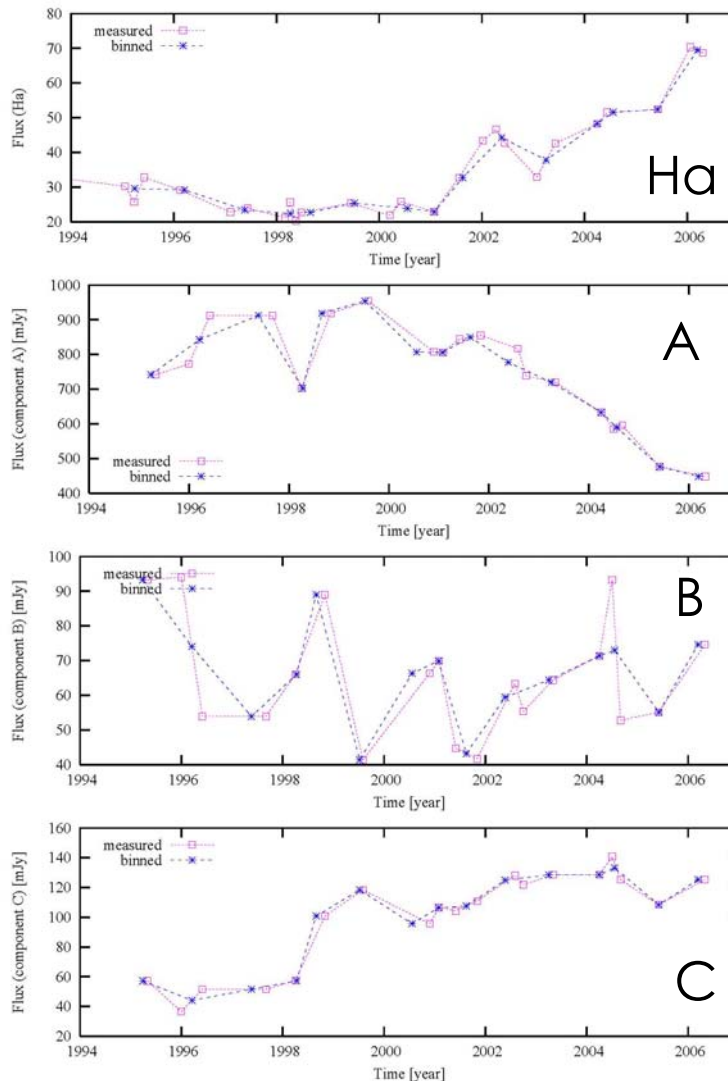
- krive sjaja Ha emisione linije i radio-komponente A



# Cross-Correlation

- ZDCF (Alexander 1997)

$R = 0.88$



# Zaključci & budući rad

- kod nekoliko AGJ, BLR (ili jedan njen deo) se objašnjava izbacivanjem materije (e.g. 3c390.3, Mrk 668)
- plazma u BLR može biti delimično jonizovana od strane relativističkog džeta (e.g. NGC 4151)
- ispitati moguću vezu između linija & radio-emisije u radio-jakim (slabim?) objektima
  - kandidati: NGC 4151, Mrk 668, 3c 390.3, 3c 120, SDSS radio AGJ sa linijama sa dva pika, ...)

Hvala Vam na pažnji!