

Osobine široko-linijske oblasti aktivnih galaksija

Dragana Ilić

- ❖ *Univerzitet u Beogradu, Matematički Fakultet
Katedra za astronomiju*
- ❖ *Astronomska Opservatorija Beograd*

L. Č. Popović (AOB), E. Bon (AOB), E. Mediavilla (IAC)

Aktivna Galaktička Jezgra - AGJ



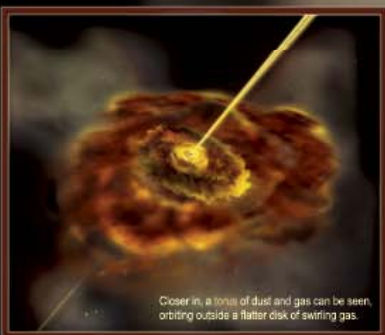
ACTIVE GALAXIES



Zooming In On A Galaxy With Jets



The long view of an active galaxy is dominated by lobes of radio emission caused by highly focused twin jets of matter streaming out from the galaxy nucleus.



Closer in, a torus of dust and gas can be seen orbiting outside a flatter disk of swirling gas.



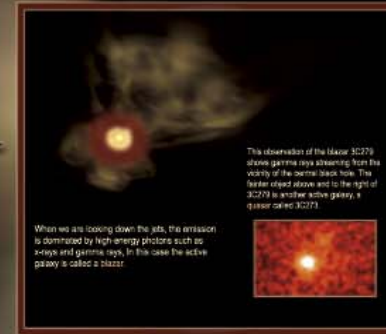
In an extreme close-up, the black hole in the center is surrounded by a flat accretion disk of rapidly orbiting material. The jets are emitted at right angles from the plane of the disk, driven by physics still not well understood.

What we see depends on how we view it ...

An active galaxy is one in which a tremendous amount of energy is emitted from the nucleus. Active galaxies take many forms; some have exquisitely bright nuclei pouring forth high-energy photons, some have high-energy nuclei but appear to be surrounded by a more-or-less "normal" galaxy, while some have long, narrow jets or beams of matter streaming out from the center. Displayed here is an illustration of an active galaxy that has jets. The nucleus of this galaxy contains a supermassive black hole - the engine that powers the phenomena we see. Following its launch, the Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST) will see thousands of these types of active galaxies.

All the images are artist's conceptions unless otherwise noted.

Different Angles On A Galaxy With Jets



When we are looking down the jets, the emission is dominated by high energy photons such as x-rays and gamma rays. In this case the active galaxy is called a blazar.



This observation of the blazar 3C279 shows gamma rays streaming from the vicinity of the central black hole. The matter closest to the hole is the sign of 3C279 is another active galaxy, a quasar called 3C273.

Image credit: SDSS/ST from Compton Gamma Ray Observatory, NASA



When seen from an angle, the linear jets are clear, and features near the galactic nucleus are more easily seen. Gamma rays are not detected, although the central source is still bright in x-rays and lower energies down to radio.



This observation of Centaurus A - a nearby active galaxy - is from Chandra, NASA's x-ray telescope. It shows x-rays from one of the jets, diffuse gas in the galaxy, and numerous point sources near the galactic center.

Image credit: NASA/SPOC/NASA et al.



When seen from the side, the relatively weak emission from the close proximity obscures the jets powered by the black hole. However, hundreds of thousands of light years before blowing into huge clouds of radio-wave emitting gas.



This observation from the Very Large Array mapped the radio emission from the close or matter in the active galaxy Centaurus A. The central region of the galaxy can be seen as just a dot, while the long jets transform into diffuse clouds over 200,000 light years from the central black hole.

Image credit: NRAO/NSF

Viewing down the jet

Viewing at an angle to the jet

Viewing at 90° from the jet

Definitions

Accretion Disk: The flattened disk of matter swirling just outside the black hole.

Blazar: A quasar that one is viewing directly down the jet axis.

Radio Lobe: A large radio wave-emitting cloud of matter located at the ends of the jets in some active galaxies, formed when the matter from the jet is slowed by intergalactic material.

Active Galaxy: A galaxy with an unusually large amount of energy emitted from the nucleus.

Jet: A thin, highly focused beam of matter and energy emitted from the nuclei of some active galaxies. Jets can be hundreds of thousands of light years long.

Torus: A doughnut shaped object. Gas and dust outside the accretion disk in an active galaxy orbit the central black hole in a torus shaped region.

Black Hole: An object so small and dense that the escape velocity is faster than the speed of light. In an active galaxy, the central black hole may have millions or even billions of times the Sun's mass.

Nucleus: The central region of a galaxy.

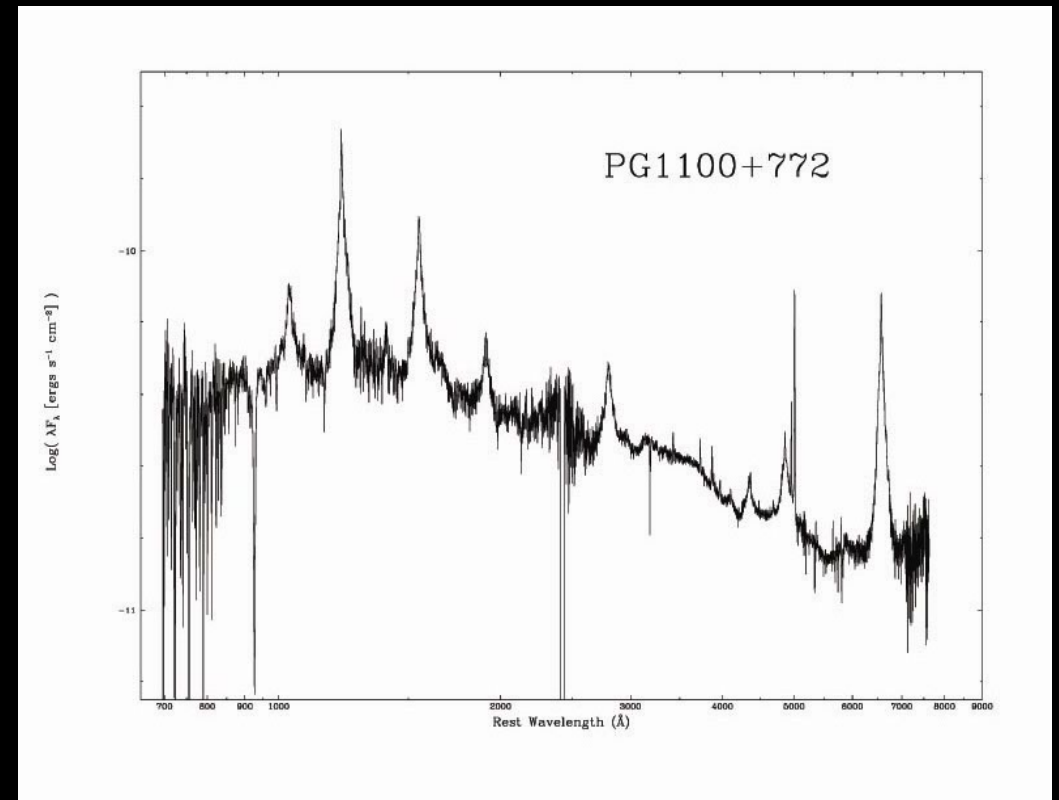
Quasar: An active galaxy so distant it appears star-like.



Emisione linije kod AGJ - I

- ❖ AGJ odlikuju jake emisione linije od X-domena do infracrvenih talasnih dužina:
npr. Fe K α , Ly α , Ly β , C IV, CIII], Mg II, [OIII], [SII], He II, Balmerove linije
- ❖ Moćan alat za analizu emisionog gasa.

Spektralna raspodela zračenja
(700 – 8000 Å) galaksije PG 1100+772



Emisione linije kod AGJ - II

- ❖ Dva tipa emisionih linija:
 - ❖ Uske emisione linije (Narrow Emission Lines - NELs):
 - FWHM \approx nekoliko 100 km/s
 - uglavnom iz zabranjenih prelaza
 - ❖ Široke emisione linije (Broad Emission Lines - BELs):
 - FWHM \approx 1000-15000 km/s
 - uglavnom iz dozvoljenih prelaza
- ❖ => prostorno, kinematički i fizički odvojene oblasti: široko-linijska oblast (Broad Line Region - BLR) i usko-linijska oblast (Narrow Line Region - NLR).

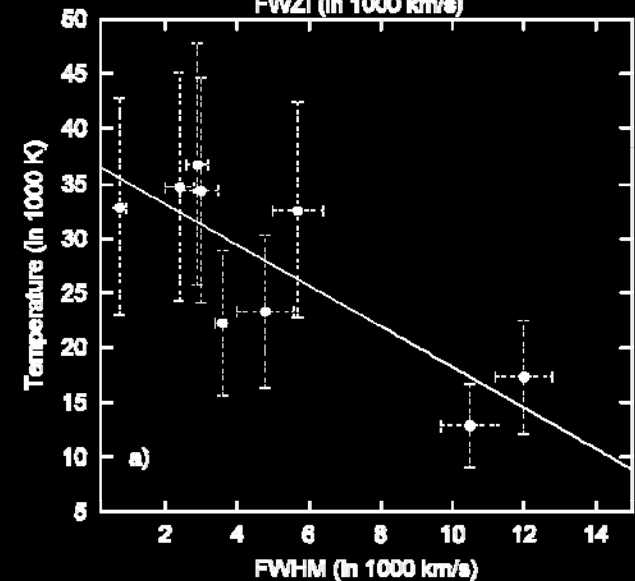
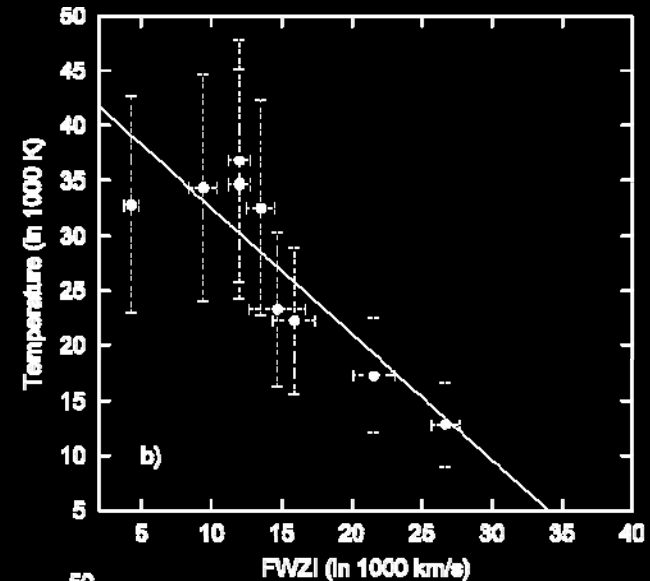
BLR – Opšte odlike

- ❖ Analiza širokih emisionih linija (intenzitet linije, širina i oblik, promenljivost, asimetrija, pomeraj) ukazuje:
 - ❖ BLR je “slojevita” sredina (Wandel et al. 1999)
 - ❖ Glavni izvor zagrevanja je fotojonizacija (Krolik 1999)
 - ❖ Veliki deo BLR je optički gust (Baldwin et al. 1997)
 - ❖ Velike gustine $n_e \sim 10^8\text{-}10^{12} \text{ cm}^{-3}$
 - ❖ Radijus $R_{\text{BLR}} \sim$ par svetlosnih dana do 1 svetlosne godine
 - ❖ Brzine $V \sim 1000\text{-}15000 \text{ km/s}$
 - ❖ Blizu centralnog izvora kontinuuma ($d < 1\text{ pc}$)

BLR – Fizičke osobine

- ❖ Različiti fizički uslovi u oblastima koje doprinose formiranju jezgra i krila linije

=> BLR je oblast složene strukture!



BLR – Kompleksna kinematika

- ❖ Složen profil širokih linija => BLR se sastoji od najmanje dve kinematički različite emisione oblasti:
 - ❖ **Intermediate Line Region (ILR)**
 - oblast između BLR i NLR
 - doprinosi stvaranju jezgra linije
 - ❖ **Very Broad Line Region (VBLR)**
 - optički retka oblast, koja se nalazi na unutrašnjoj ivici BLR
 - doprinosi stvaranju krila linije
 - velika gustina i veliki jonizacioni parametri (Sulentic et al. 2000)

Koncept geometrije BLR

- ❖ Moguće je da se VBLR nalazi u formi diska ili barem nešto slično disku:
 - ❖ Brzina akrecije ukazuje da AGJ sadrži optički gust i geometrijski tanak akrecioni disk (Wang et al. 2003)
 - ❖ Razlika u FWZI Ly α i H β linija pruža dodatne dokaze za postojanje VLBR, koja može biti u obliku diska (Corbin & Boroson 1996)
 - ❖ Emisija iz diska može dati i linije sa jednim pikom:
 - parametri diska (npr. inklinacija) mogu biti takvi da se posmatraju samo linije sa jednim pikom, ili
 - emisija iz diska može biti prekrivena emisijom iz neke druge oblasti, gde se takođe formiraju linije

Koncept geometrije BLR

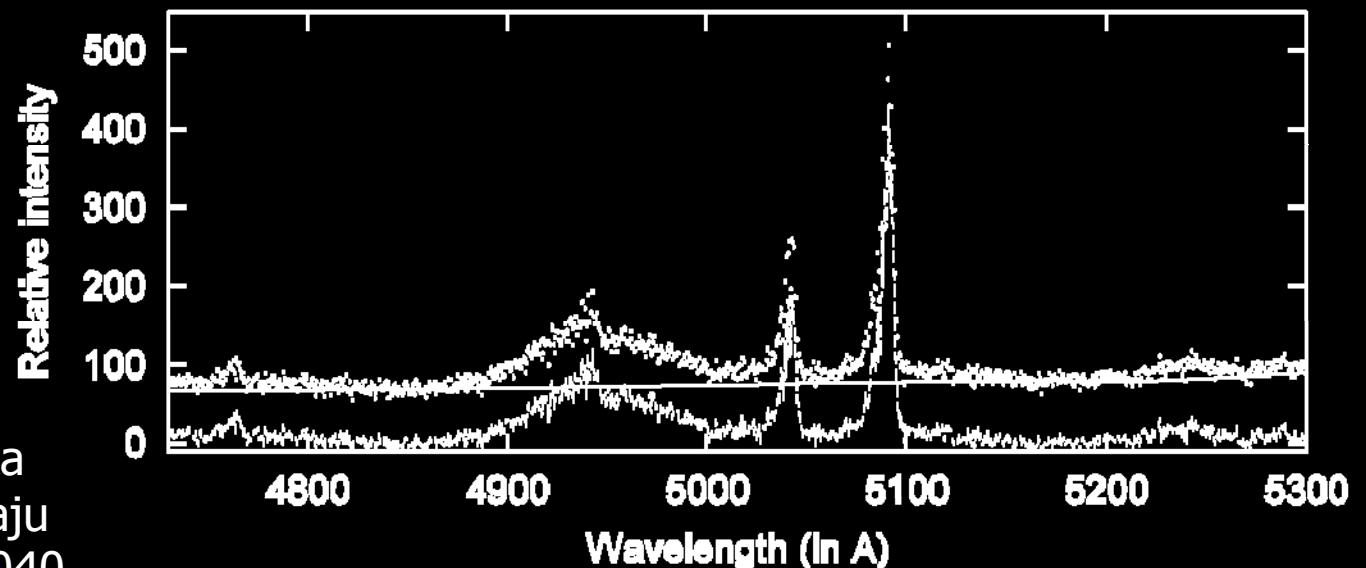
- ❖ Široke emisione linije nekih galaksija (npr. Akn 120) moguće je fitovati modelom koji sadrži dve komponente: (Popović et al. 2002; Popović et al. 2003)
 - (i) akrecioni disk (VBLR) – krila linije
 - (ii) oblast koja okružuje disk (ILR) – jezgro linije
- ❖ Cilj ovog rada je da testira valjanost dvo-komponentnog modela široko-linijske oblasti.

Posmatranja

- ❖ Potrebne su spektralne linije visoke spektralne rezolucije i velikog odnosa signal/šum => substrukture vezane za emisiju diska
- ❖ Posmatrane su Balmerove linije kod 12 AGJ:
 - koje nemaju H α and H β linije sa dva pika
 - ranije posmatrane u X-domenu i pokazuju geometriju diska barem u oblasti koja emituje X-zrake (Nandra et al. 1997; Sulentic et al. 1998)
- ❖ Obavljena su sa 2.5m teleskopom Isaac-Newton (La Palma Opservatorija, Kanarska ostrva) - Januar 2002 (Popović et al. 2004)

Obrada podataka

- ❖ Standardne procedure obrade podataka - IRAF programski paket: oduzimanje flat-fields, kalibracija talasnih dužina (CuNe i CuAr lampe), oduzimanje pozadine...
- ❖ Oduzimanje kontinuuma – pomoću programskog paketa DIPSO (korišćena je funkcija cdraw 1)



Procena kontinuuma
(puna linija) u slučaju
H β linije kod Mrk 1040

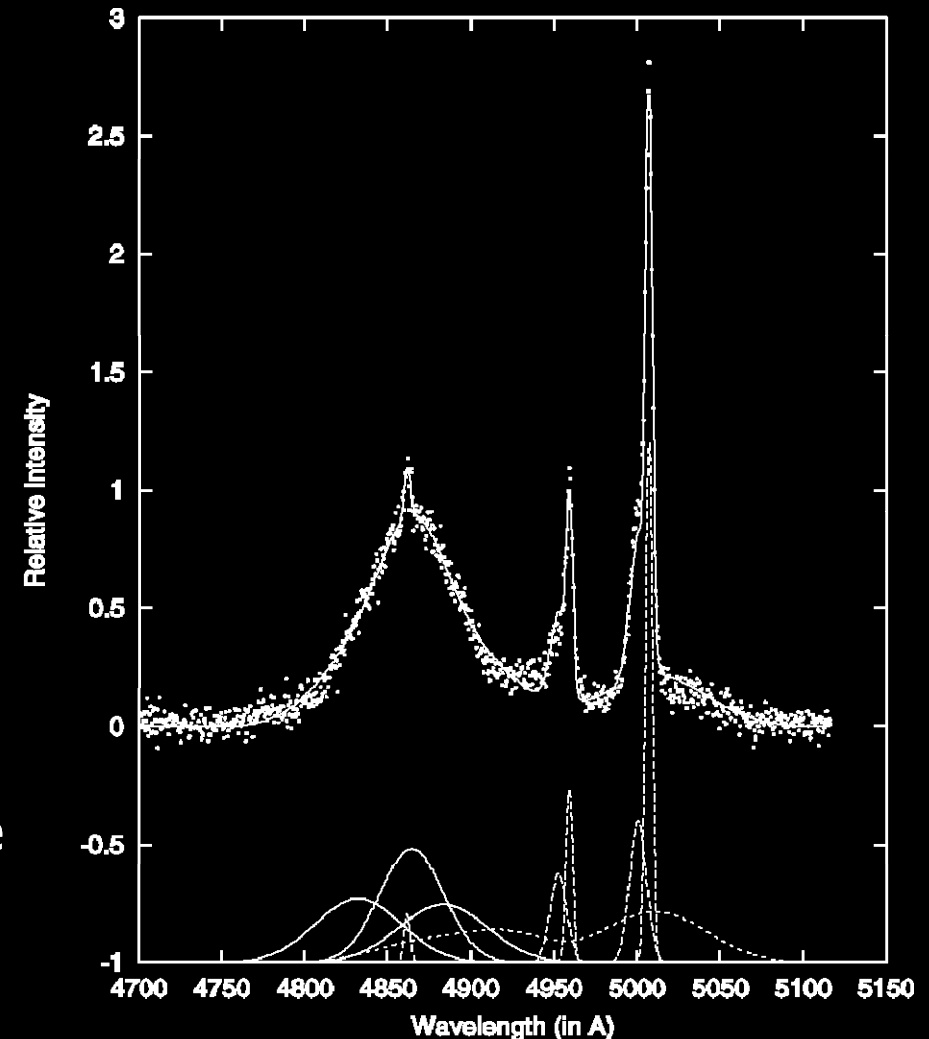
Analiza profila linija

- ❖ Analiza oblika H α i H β linija:
 - ❖ Fitovanje svake linije pomoću sume Gausijana
 - ❖ Koristeći χ^2 minimalizacioni postupak za dobijanje najboljeg fita
 - ❖ Limitirajući broj slobodnih parametara sa a-priori ograničenjima
 - ❖ Predpostavljajući da i uske linije mogu biti složene i predstavljene pomoću jednog ili više Gausijana
- ❖ Naći najbolji fit kako bi se oduzele satelitske i uske linije

Analiza profila linija

❖ Slučaj H β linije:

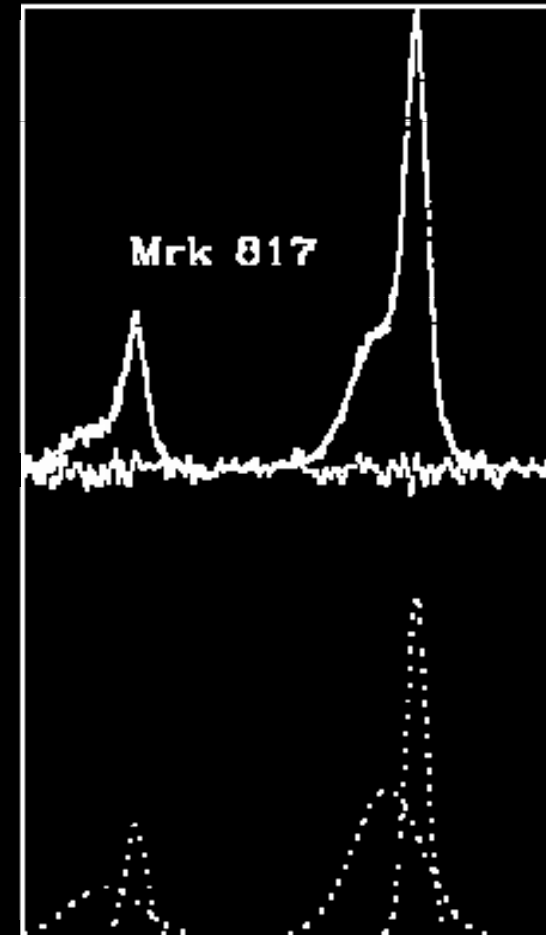
- ❖ uska H β komponenta i [OIII] $\lambda\lambda$ 4959, 5007 linije imaju isti sistematski crveni pomak
- ❖ širine njihovih Gausijana su proporcionalne njihovim talasnim dužinama
- ❖ odnos intenziteta dve [OIII] linije je fiksiran na 1:3.03
- ❖ uključen je i Fe II uzorak koji se sastoji od 9 Fe II linija
- ❖ kao i He I $\lambda\lambda$ 4922, 5016 linije, za koje se pretpostavlja da nastaju u istoj oblasti



Razlaganje H β linije galaksije Mrk 817. Tačke predstavljaju posmatranja a puna linija je najbolji fit.

Analiza profila linija

- ❖ [OIII] linije pokazuju asimetrična i proširena krila
=> ne mogu biti fitovane samo sa jednim Gausijanom
- ❖ Uvode se još dva Gausijana, koja su pomereni ka plavom i šira od centralne komponente
=> jedino ako se odnos intenziteta ostavi kao slobodan parametar dobija se zadovoljavajući fit!

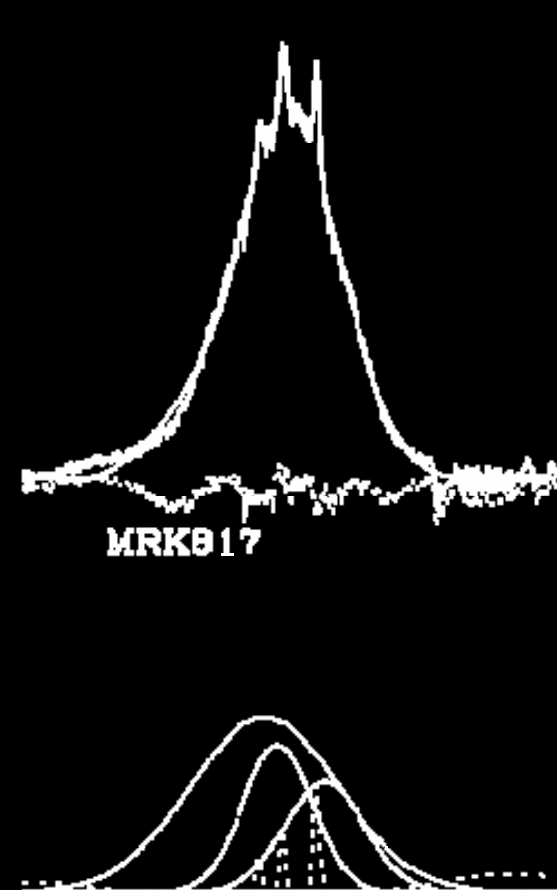


Razlaganje [OIII] linija.

Analiza profila linija

❖ Slučaj H α linije:

- ❖ Uska komponenta H α linije i [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 6583 linije imaju isti sistematski crveni pomak
- ❖ širine njihovih Gausijana su proporcionalne njihovim talasnim dužinama λ
- ❖ odnos intenziteta dve [NII] linije je 1:2.96 i one su fitovane samo pomoću jednog Gausijana
- ❖ doprinos Fe II linija u ovoj oblasti, kao i He I λ 6678 i Si II λ 6371 je takođe uzet u obzir, ali je on zanemarljiv

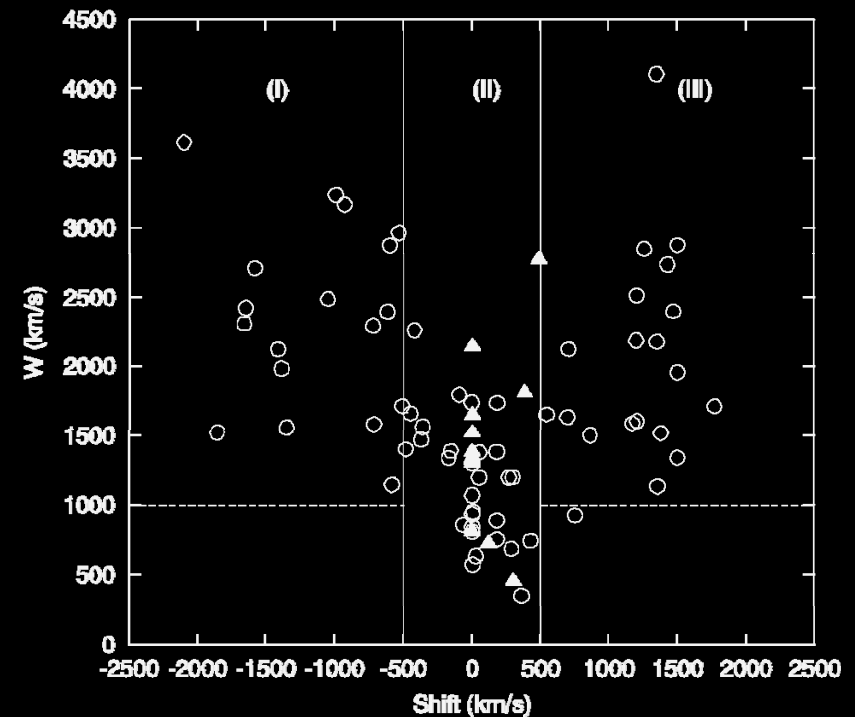


Razlaganje H α linije. Uske isprekidane linije odgovaraju uskoj H α i [NII] linijama, dok široke odgovaraju doprinosu Fe II i He I linija.

Široke emisione linije

❖ U slučaju širokih Gausijana:

1. oblik H β i H α linija je veoma složen
=> složena kinematička struktura BLR u ovom uzorku
2. centralna široka komponenta ima male brzine (500-1500 km/s) i crveni pomak u skladu sa brzinom sistema
3. crveno- i plavo-pomerene široke komponente imaju veće brzine i veći (pozitivan ili negativan) pomeraj
=> emisija u krilima linije može poticati iz akrecionog diska
4. Fe II linije potiču iz iste oblasti kao i jezgro H β i H α linija



Širine različitih širokih komponenti u funkciji lokalnog pomeraja H α i H β linija (prazni kružići) i Fe II uzorka (puni trouglići).

Dvo-komponentni model

- ❖ BLR - fitovati pomoću dve komponente:
 - ❖ **Relativistički akrecioni disk** – relativistički Keplerov model (Chen & Halpern 1989)
 - ❖ **Dodatna emisiona oblast** – sferna oblast sa izotropskom raspodelom brzina

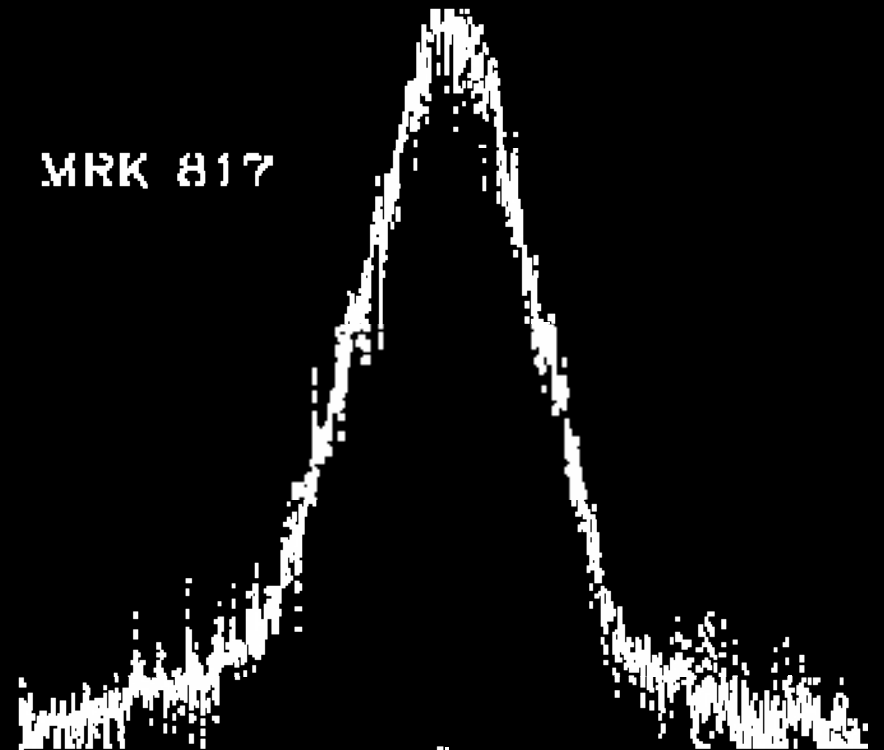
=> Ukupan profil linije: $I(\lambda) = I_{AD}(\lambda) + I_G(\lambda)$

Fitovanje linija

- ❖ Prvo, spektri su "očišćeni" oduzimanjem uskih H β /H α komponenti i drugih satelitskih linija
- ❖ Ako uporedimo očišćene i normalizovane spektre H β i H α
 - => imaju vrlo sličan profil
 - => obe linije se formiraju u istoj oblasti

- ❖ Za fit je uzet njihov usrednjen profil

Usrednjeni profil
H β i H α linija.

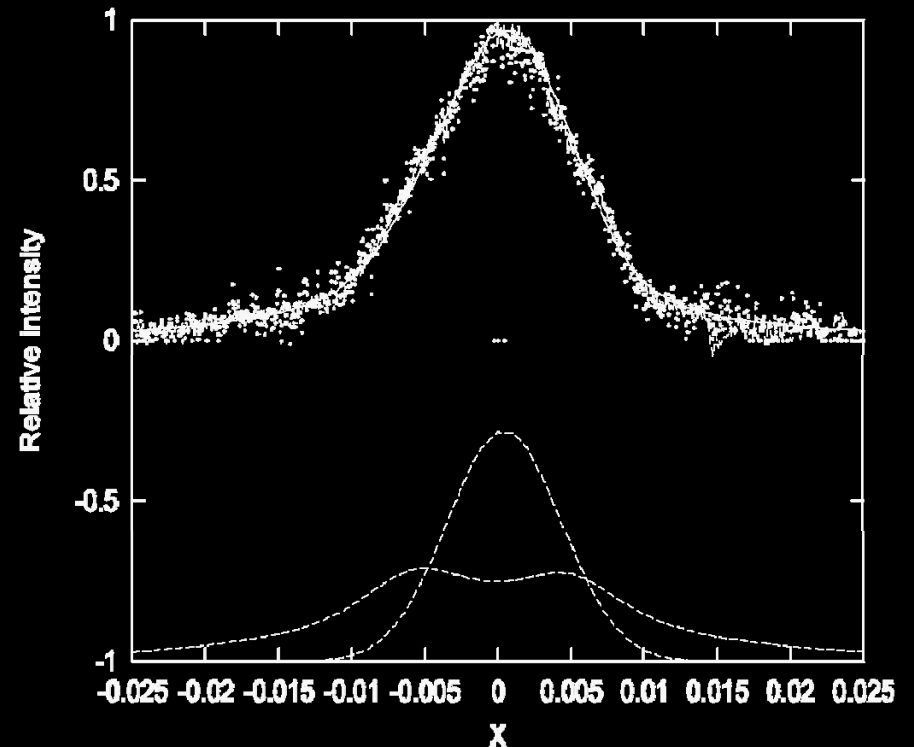


Fitovanje linija

- ❖ Gruba procena parametara diska iz analize pomoću Gausijana
- ❖ Broj slobodnih parametara je veliki kada se fituje linija sa jednim pikom => potrebna su dodatna ograničenja

❖ Fitovati BLR sa:

- a) parametar emisivnosti diska $p=3$
- b) inclinacija diska $i>25^\circ$



Galaksija Mrk 817 - fit dvo-komponentnim modelom, sa parametrima diska: $i=14$, $p=3.0$

Rezultati

- ❖ Profile linije je moguće fitovati dvo-komponentnim modelom, ali da bi se dobilo jedinstveno rešenje **najmanje jedan parametar mora biti zadat** (npr. dimenzije BLR dobijene iz "reverberation studies")
- ❖ U ovom uzorku AGJ, oblik krila linija ukazuje na radijalno kretanje => moguće je da imamo diskoliku geometriju



Popović et al. 2004, A&A 423, 909

Rezultati

❖ Parametri diska:

- ❖ maksimalni spoljašni radijus je u opsegu $10^4 - 10^5 R_g$
- ❖ lokalne slučajne brzine su u širokom opsegu 300-1700 km/s, kao i lokalni pomeraj (-780 to +450 km/s)
- ❖ minimalni unutrašnji radijus emisionog diska je u opsegu 100-600 R_g
- ❖ inclinacija $5^\circ < i < 25^\circ$

❖ Sferna emisiona oblast:

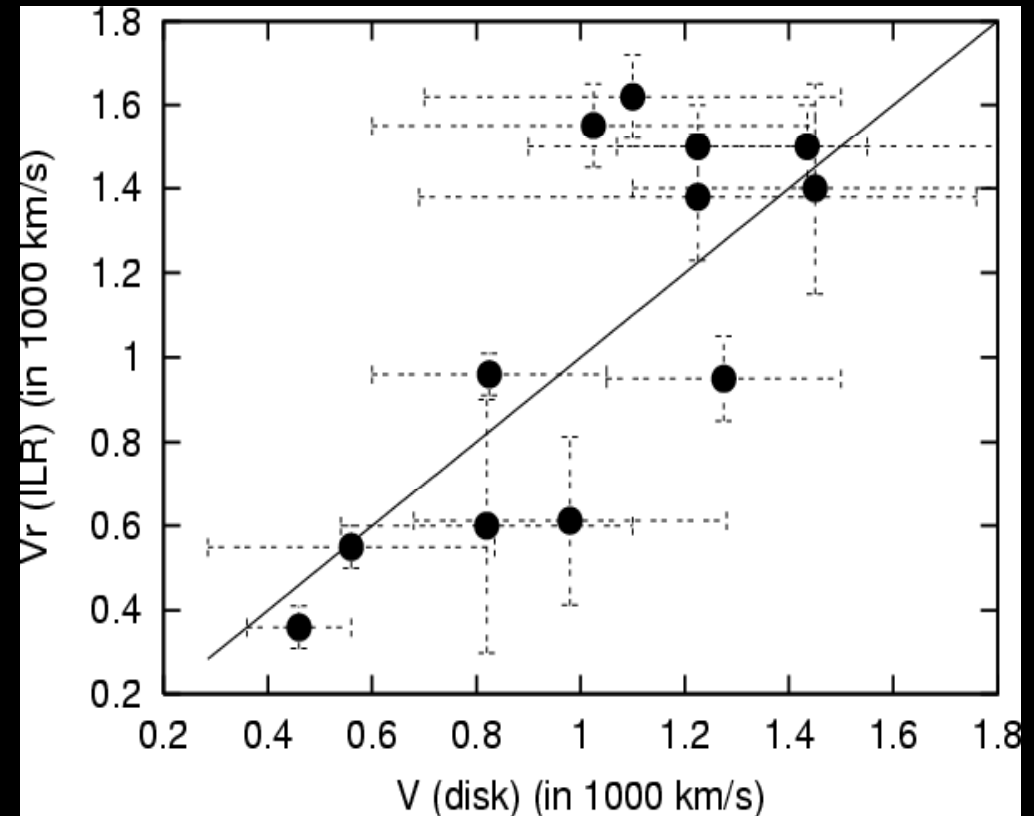
- ❖ crveni pomak je unutar 300 km/s kosmološke vrednosti
- ❖ slučajne brzine su u opsegu 400-1600 km/s

Rezultati

- ❖ Lokalne slučajne brzine unutar diska su korelisane sa brzinama unutar sferne oblasti

=> ova oblast nastaje pomoću vetra iz akrecionog diska

- ❖ Formiranja BLR-a udarnim talasima iz akrecionog diska (Formerth & Melia 2001)



Slučajne brzine sferne oblasti (IRL) u funkciji lokalnih slučajnih brzina diska.

Rezime

- ❖ Gausijan analizom H β i H α linija =>
 - ❖ obe oblasti (BLR i NLR) su složene
 - ❖ [OIII] uske linije je moguće dobro fitovati samo sa dva Gausijana, jedan pomeren ka plavom => džet
 - ❖ dve NLR sa različitim fizičkim osobinama
 - ❖ široke linije se mogu razložiti na tri široka Gausijana – jedan pomeren ka crvenom, jedan ka plavom i jedan baš na sistematskom crvenom pomaku galaksije

Rezime

- ❖ Pretpostavljamo dvo-komponentni model:
 - ❖ VBLR – akrecioni disk => doprinosi krilima linije
 - ❖ ILR – sferna oblast => doprinosi jezgru linije
- ❖ Model je primenjen na posmatrane profile linija
 - ❖ dobijen je dobar fit, ali potrebno je bar još jedno dodatno ograničenje zbog velikog broja parametara i postojanja linija sa jednim pikom
 - ❖ slučajne brzine unutar obe oblasti su slične => povezane su nekim zajedničkim procesom (npr. vetar iz diska)