

# Astronomía Extragaláctica

## Cap. 7: Galaxias activas

Profesor: Favio R. Faifer y Sergio A. Cellone

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas  
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

curso 2024

- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos

- 1 **Introducción - Marco histórico**
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos

AGN: emisor multifrecuencia

Objeto complejo:  $\neq$  componentes hacen  $\neq$  contribución a la  
SED

Objeto compacto: argumentos de tiempo-luz (y resolución  
espacial)

AGN: emisor multifrecuencia

Objeto complejo:  $\neq$  componentes hacen  $\neq$  contribución a la SED

Objeto compacto: argumentos de tiempo-luz (y resolución espacial)

- galaxias Seyfert,
- radiogalaxias,
- cuasares.

Fath 1909: líneas de emisión intensas  
en el espectro óptico  
de la “nebulosa espiral”  
NGC 1068

Slipher 1917: emisiones en NGC 1068  
no monocromáticas  
(i.e., anchas)



Hubble 1926: unas pocas galaxias espirales con núcleos  
estelares tenían espectros ópticos similares a  
nebulosas planetarias

Fath 1909: líneas de emisión intensas  
en el espectro óptico  
de la “nebulosa espiral”  
NGC 1068

Slipher 1917: emisiones en NGC 1068  
no monocromáticas  
(i.e., anchas)



Hubble 1926: unas pocas galaxias espirales con núcleos  
estelares tenían espectros ópticos similares a  
nebulosas planetarias

Fath 1909: líneas de emisión intensas  
en el espectro óptico  
de la “nebulosa espiral”  
NGC 1068

Slipher 1917: emisiones en NGC 1068  
no monocromáticas  
(i.e., anchas)



Hubble 1926: unas pocas galaxias espirales con **núcleos estelares** tenían espectros ópticos similares a nebulosas planetarias

## Carl Seyfert (1943)

inició el estudio sistemático de galaxias  
espirales con núcleos de aspecto estelar.  
Mostraban espectros ópticos compuestos:

componente estelar tipo G ( $\equiv$  galaxia  
normal)

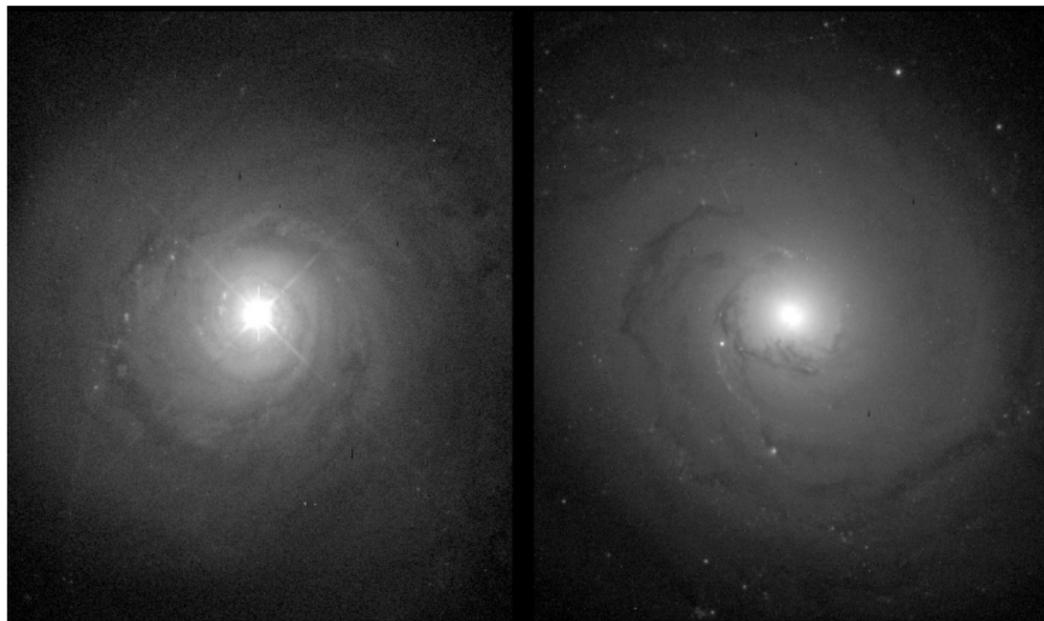
+

líneas de emisión intensas, de alta  
excitación.



# Galaxias Seyfert

Imágenes

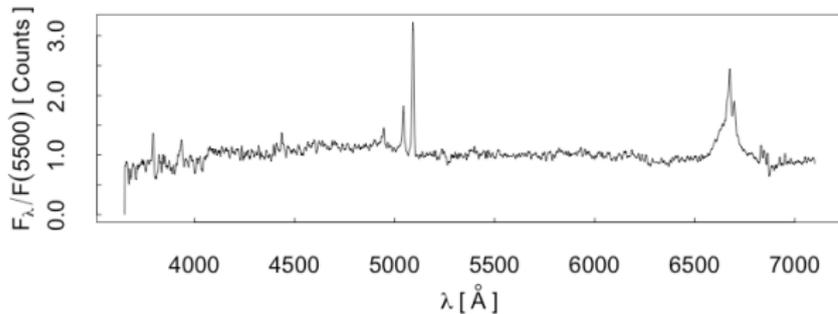


NGC 5548 (galaxia Seyfert)

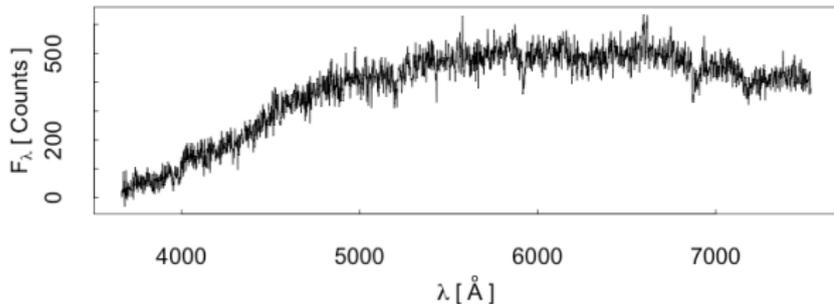
NGC 3277 (Sbc normal)

# Galaxias Seyfert

Espectros



NGC 5548  
(galaxia  
Seyfert)  
 $z = 0.0172$



NGC 3277  
(Sbc normal)  
 $z = 0.0047$

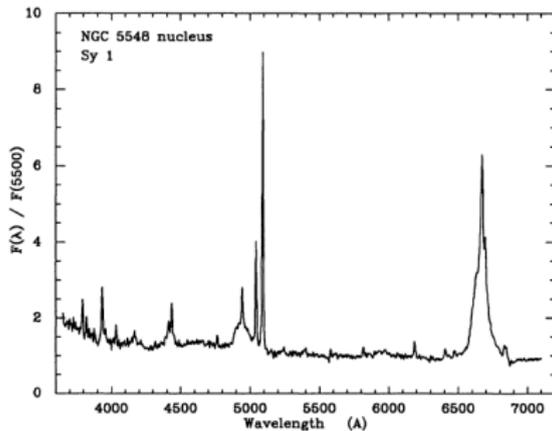
**Sy 1:** líneas de emisión permitidas muy anchas  $\Rightarrow$  velocidades Doppler hasta  $\sim 10^4 \text{ km s}^{-1}$ , y líneas prohibidas relativamente angostas,.

**Sy 2:** líneas de emisión relativamente angostas ( $\sim 3000 \text{ km s}^{-1}$ ), tanto permitidas como prohibidas. Continuo AGN relativamente más débil que en las Sy 1.

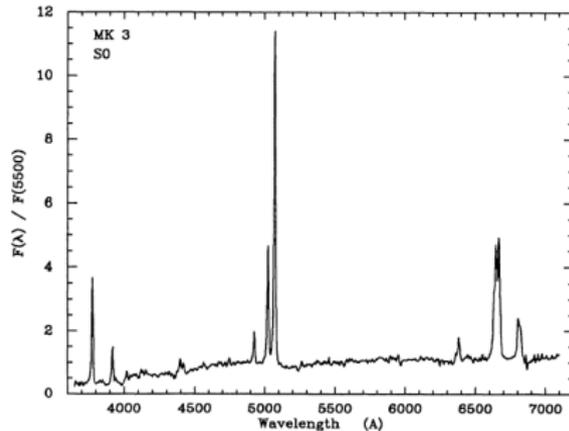
- Sy 1:** líneas de emisión permitidas muy anchas  $\Rightarrow$  velocidades Doppler hasta  $\sim 10^4 \text{ km s}^{-1}$ , y líneas prohibidas relativamente angostas,.
- Sy 2:** líneas de emisión relativamente angostas ( $\sim 3000 \text{ km s}^{-1}$ ), tanto permitidas como prohibidas. Continuo AGN relativamente más débil que en las Sy 1.

# Galaxias Seyfert tipos 1 y 2

## Seyfert 1



## Seyfert 2



líneas anchas: solo permitidas

líneas anchas: ninguna

líneas angostas: permitidas y prohibidas

- Hasta 1609 (G. Galilei): milenios de Astronomía a ojo desnudo
- 1609 - 1935 (K. Jansky): 3 siglos de telescopios ópticos

La identificación óptica de radio fuentes era (es) una necesidad.

Primeras radio-fuentes (discretas)  
identificadas (Bolton et al. 1949)

Tau A	≡	Crab Nebula	(SNR)
Vir A	≡	M87	(radiogalaxia)
Cen A	≡	NGC 5128	(radiogalaxia)



- Hasta 1609 (G. Galilei): milenios de Astronomía a ojo desnudo
- 1609 - 1935 (K. Jansky): 3 siglos de telescopios ópticos

La identificación óptica de radio fuentes era (es) una necesidad.

## Primeras radio-fuentes (discretas) identificadas (Bolton et al. 1949)

Tau A	≡	Crab Nebula	(SNR)
Vir A	≡	M87	(radiogalaxia)
Cen A	≡	NGC 5128	(radiogalaxia)



## Continuo de radio:

$\nu = 60 - 80 - 100 \text{ Mhz}$  ( $\equiv \lambda = 5.0 - 3.7 - 2.0 \text{ m}$ , respec.)

Espectro no térmico (sincrotrón)

La línea de H<sub>I</sub> 21 cm ( $\equiv 1.4 \text{ Ghz}$ ) no sería detectada hasta 1951

## Continuo de radio:

$\nu = 60 - 80 - 100 \text{ Mhz}$  ( $\equiv \lambda = 5.0 - 3.7 - 2.0 \text{ m}$ , respec.)

Espectro no térmico (sincrotrón)

La línea de H<sub>I</sub> 21 cm ( $\equiv 1.4 \text{ Ghz}$ ) no sería detectada hasta 1951

Jennison & Das Gupta (1953):

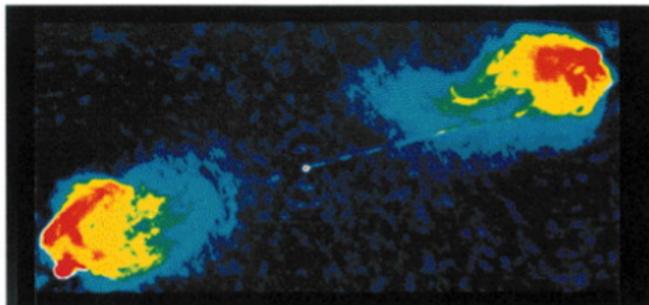
radio fuente Cyg A → morfología en radio 2 componentes

Baade & Minkowski (1954):

objeto óptico ~ “dos galaxias en colisión”

$z = 0.056 \Rightarrow L_{\text{rad}} \approx 6 \times 10^{36} \text{ W } (H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1})$ .

**Radio Image of Cygnus-A (FR-II)**



$z=0.056$  ( $d=300$  Mpc)

5 GHz image ;  $\varnothing$  200 kpc

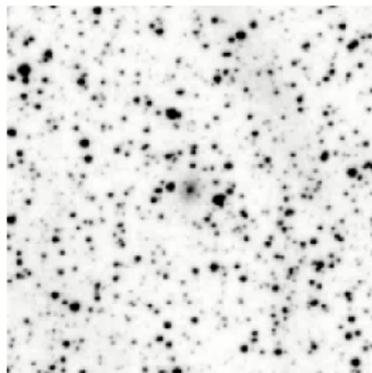
Jennison & Das Gupta (1953):

radio fuente Cyg A → morfología en radio 2 componentes

Baade & Minkowski (1954):

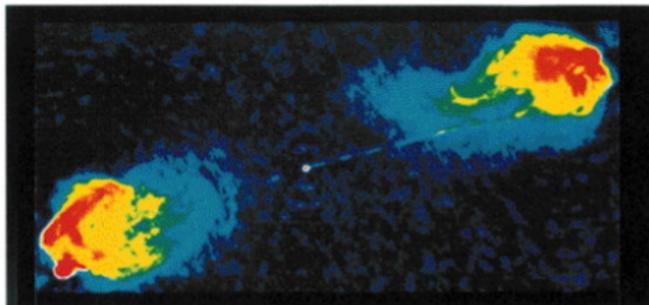
objeto óptico ~ “dos galaxias en colisión”

$z = 0.056 \Rightarrow L_{\text{rad}} \approx 6 \times 10^{36} \text{ W}$  ( $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ).



(DSS)

Radio Image of Cygnus-A (FR-II)



$z=0.056$  ( $d=300 \text{ Mpc}$ )

5 GHz Image ; © 200 kpc

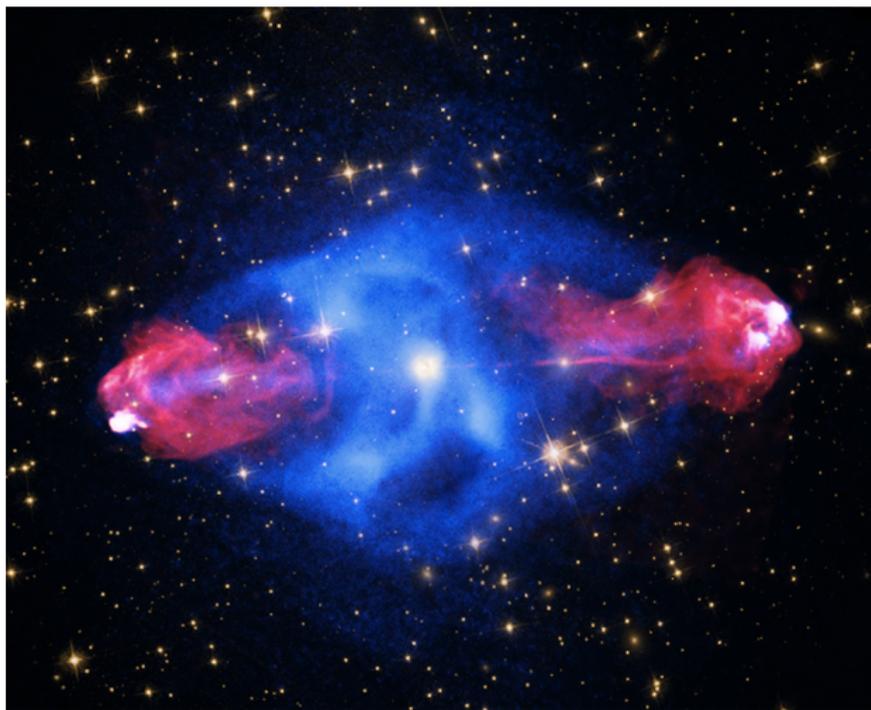
# Radiogalaxias

Cygnus A



# Radiogalaxias

Cygnus A



Optico, X-ray (azul) y radio (rojo).

- A diferencia de las galaxias Seyfert, que son en su mayoría espirales, las radiogalaxias son usualmente E, o bien, sistemas en interacción.
- Identificación en el óptico: siempre necesaria.
- Hacia 1960 ya se había reconocido que el origen de la emisión en radio era synchrotron.

Edge et al. (1959): 3<sup>rd</sup> Cambridge survey of radio sources

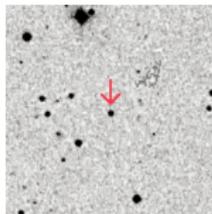
A. Sandage (1960): radio-fuente 3C 48  $\equiv$  objeto variable de aspecto estelar 16 mag,

Matthews & Sandage (1963): espectro óptico con líneas de emisión anchas desconocidas

Edge et al. (1959): 3<sup>rd</sup> Cambridge survey of radio sources

A. Sandage (1960): radio-fuente 3C 48  $\equiv$  objeto variable de aspecto estelar 16 mag,

Matthews & Sandage (1963): espectro óptico con líneas de emisión anchas desconocidas

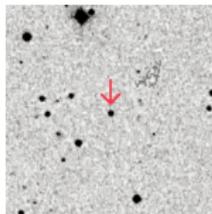


*Quasi-stellar radio-sources*  
(QSRS o QSS)  $\rightarrow$  **quasar**

Edge et al. (1959): 3<sup>rd</sup> Cambridge survey of radio sources

A. Sandage (1960): radio-fuente 3C 48  $\equiv$  objeto variable de aspecto estelar 16 mag,

Matthews & Sandage (1963): espectro óptico con líneas de emisión anchas desconocidas

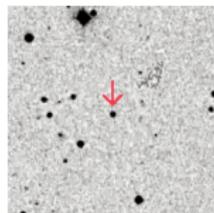


*Quasi-stellar radio-sources*  
(QSRS o QSS)  $\rightarrow$  quasar

Edge et al. (1959): 3<sup>rd</sup> Cambridge survey of radio sources

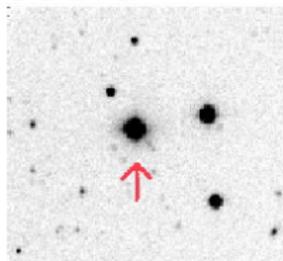
A. Sandage (1960): radio-fuente 3C 48  $\equiv$  objeto variable de aspecto estelar 16 mag,

Matthews & Sandage (1963): espectro óptico con líneas de emisión anchas desconocidas



*Quasi-stellar radio-sources*  
(QSRS o QSS)  $\rightarrow$  **quasar**

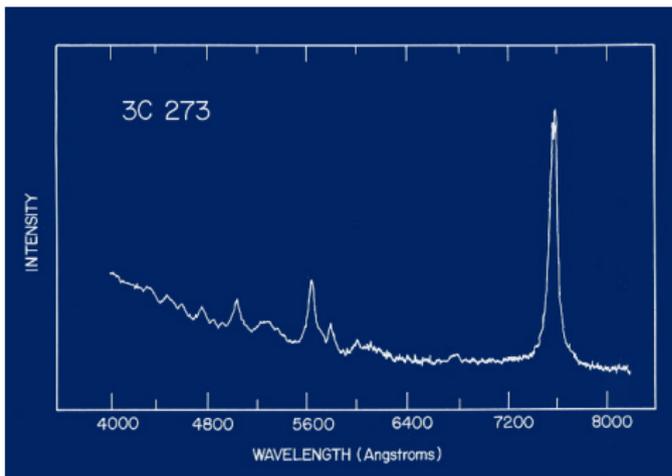
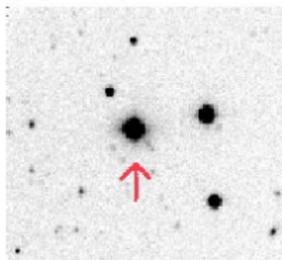
3C 273



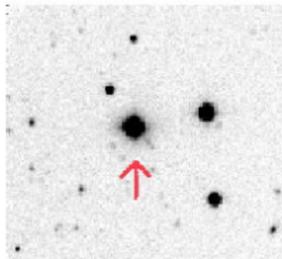
Maarten Schmidt (1963): espectro óptico

Maarten Schmidt (1963): espectro óptico

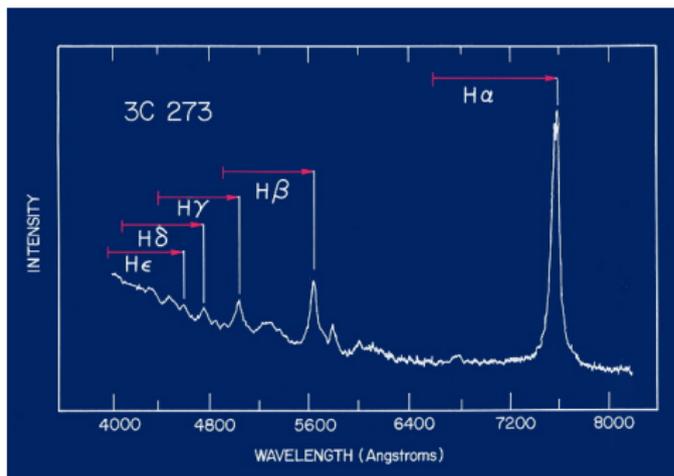
3C 273



3C 273



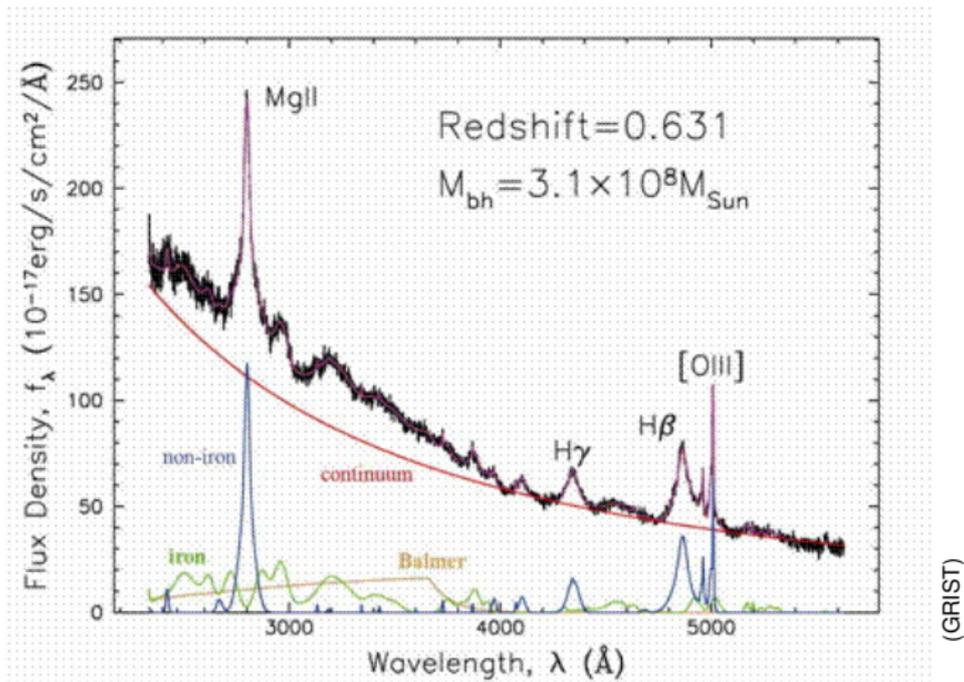
Maarten Schmidt (1963): espectro óptico

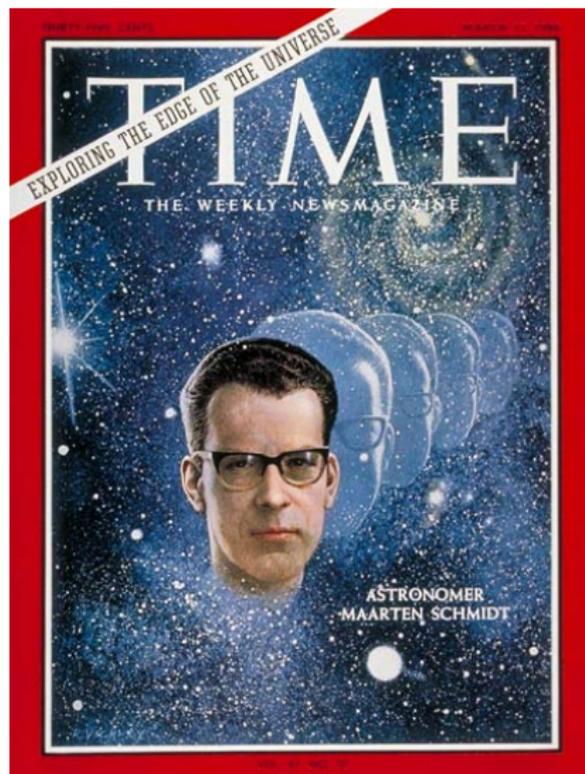


$z = 0.158$

# Espectros ópticos

Cuasares





Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

**Efecto Doppler:** objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

**Corrimientos al rojo gravitacionales:** objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

**Corrimientos al rojo cosmológicos:**  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

**Efecto Doppler:** objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

**Corrimientos al rojo gravitacionales:** objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

**Corrimientos al rojo cosmológicos:**  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

**Efecto Doppler:** objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

**Corrimientos al rojo gravitacionales:** objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

**Corrimientos al rojo cosmológicos:**  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

**Efecto Doppler:** objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

**Corrimientos al rojo gravitacionales:** objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

**Corrimientos al rojo cosmológicos:**  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

**Efecto Doppler:** objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

**Corrimientos al rojo gravitacionales:** objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

**Corrimientos al rojo cosmológicos:**  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

Efecto Doppler: objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

Corrimientos al rojo gravitacionales: objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

Corrimientos al rojo cosmológicos:  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

Efecto Doppler: objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

Corrimientos al rojo gravitacionales: objeto supermasivo (GR)

- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

Corrimientos al rojo cosmológicos:  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

Los cuasares tienen corrimientos al rojo altos

Efecto Doppler: objetos cercanos moviéndose a altas velocidades

- no se detectan movimientos propios
- no se detectan corrimientos al azul

Corrimientos al rojo gravitacionales: objeto supermasivo (GR)

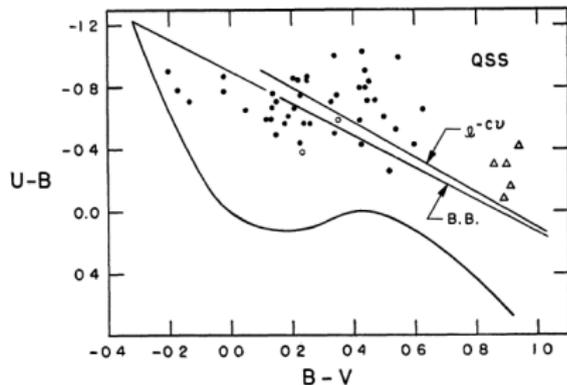
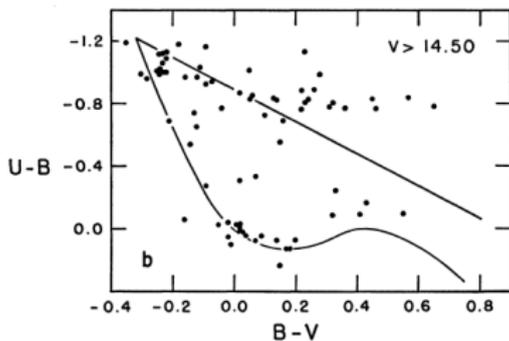
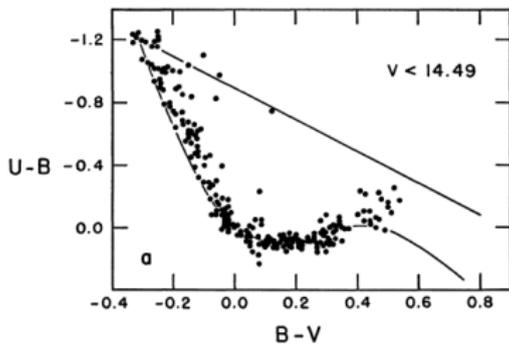
- densidades electrónicas extremadamente altas  
(no deberían observarse líneas prohibidas)

Corrimientos al rojo cosmológicos:  $d \simeq cz H_0^{-1}$  (para  $z \ll 1$ )

- $L_{\text{opt}} \geq 10 - 30$  veces galaxia E luminosa
- tamaño  $\ll$  galaxia normal

# Cuasares

Colores ópticos

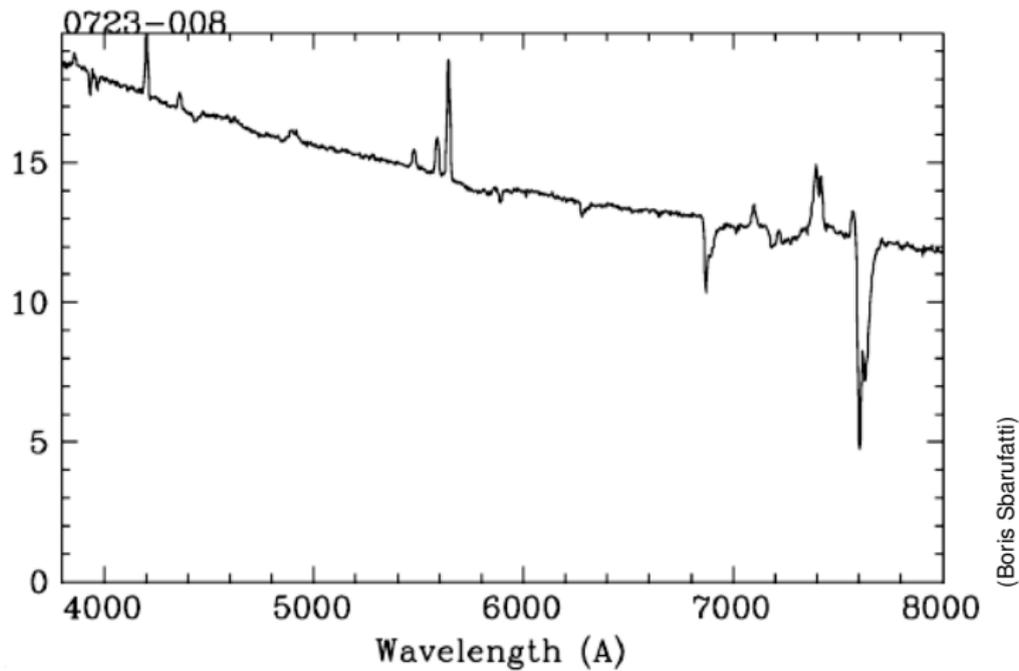


Sandage (1965): los cuasares  
tienen excesos U

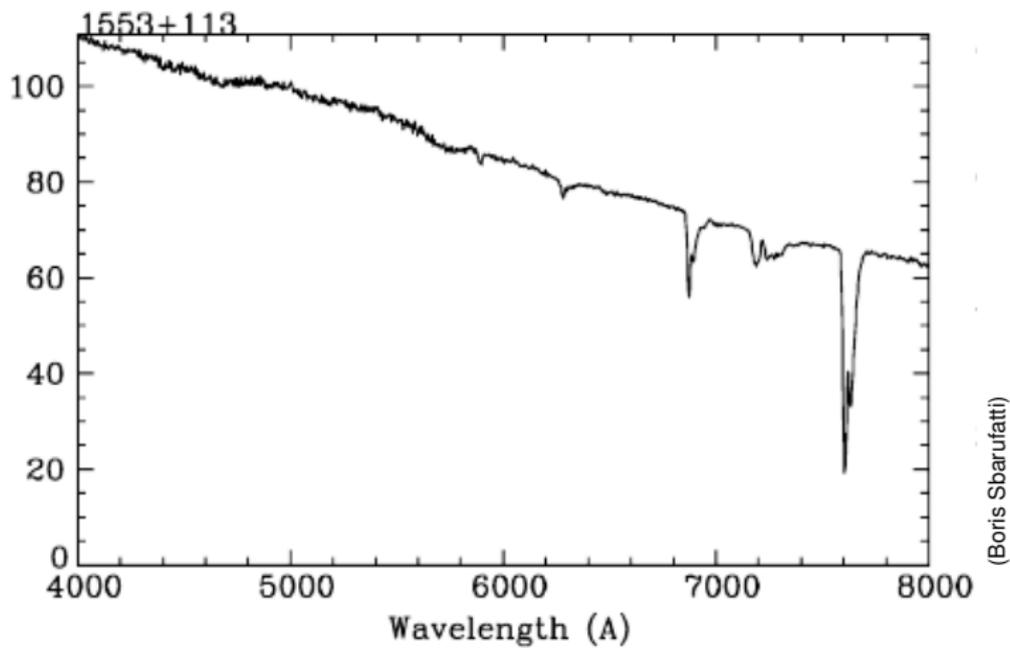
Gran población de cuasares **radio**  
**silenciosos**

*quasi-stellar objects* → QSO

# Objetos BL Lac



# Objetos BL Lac



## BL Lacs + FSRQs = blazares

- Emisión intensa desde radio a rayos- $\gamma$
- Flujo variable: gran amplitud,  $\Delta t \approx$  horas
- Polarización alta y variable
- Movimientos superlumínicos (radio jet)

- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN**
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos

Salpeter (1964); Zel'dovich & Novikov (1964): La fuente de energía en cuasares y radiogalaxias es acreción de materia a objeto compacto supermasivo.

Lynden-Bell (1969):

energía en radiogalaxias (lóbulos)  $\rightarrow E_{\text{RG}} \sim 10^{54} \text{ J}$ .

Su masa asociada es:

$$M_E = E_{\text{RG}} c^{-2} \simeq 6 \times 10^6 M_{\odot},$$

si es el resultado de fusión nuclear, se requiere una masa original

$$M \geq \frac{M_E}{0.007} \simeq 10^9 M_{\odot}.$$

Salpeter (1964); Zel'dovich & Novikov (1964): La fuente de energía en cuasares y radiogalaxias es acreción de materia a objeto compacto supermasivo.

Lynden-Bell (1969):

energía en radiogalaxias (lóbulos)  $\rightarrow E_{\text{RG}} \sim 10^{54} \text{ J}$ .

Su masa asociada es:

$$\mathcal{M}_E = E_{\text{RG}} c^{-2} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot},$$

si es el resultado de fusión nuclear, se requiere una masa original

$$\mathcal{M} \geq \frac{\mathcal{M}_E}{0.007} \simeq 10^9 \mathcal{M}_{\odot}.$$

Salpeter (1964); Zel'dovich & Novikov (1964): La fuente de energía en cuasares y radiogalaxias es acreción de materia a objeto compacto supermasivo.

Lynden-Bell (1969):

energía en radiogalaxias (lóbulos)  $\rightarrow E_{\text{RG}} \sim 10^{54} \text{ J}$ .

Su masa asociada es:

$$\mathcal{M}_E = E_{\text{RG}} c^{-2} \simeq 6 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot},$$

si es el resultado de fusión nuclear, se requiere una masa original

$$\mathcal{M} \geq \frac{\mathcal{M}_E}{0.007} \simeq 10^9 \mathcal{M}_{\odot}.$$

Lynden-Bell (1969):

Variabilidad  $\Rightarrow R \leq 10$  horas-luz  $= 10^{13}$  m ( $\equiv 70$  AU).

Energía de ligadura

$$\frac{GM^2}{R} \simeq 2.7 \times 10^{55} \text{ J.}$$

*∴ ... con la intención de producir un modelo basado en combustible nuclear, acabamos con un modelo que ha producido energía más que suficiente por contracción gravitatoria, mientras que la contribución del combustible nuclear terminó siendo irrelevante.*

Lynden-Bell (1969):

Variabilidad  $\Rightarrow R \leq 10$  horas-luz  $= 10^{13}$  m ( $\equiv 70$  AU).

Energía de ligadura

$$\frac{GM^2}{R} \simeq 2.7 \times 10^{55} \text{ J.}$$

*∴ ... con la intención de producir un modelo basado en combustible nuclear, acabamos con un modelo que ha producido energía más que suficiente por contracción gravitatoria, mientras que la contribución del combustible nuclear terminó siendo irrelevante.*

Lynden-Bell (1969):

Variabilidad  $\Rightarrow R \leq 10$  horas-luz  $= 10^{13}$  m ( $\equiv 70$  AU).

Energía de ligadura

$$\frac{GM^2}{R} \simeq 2.7 \times 10^{55} \text{ J.}$$

*∴ ... con la intención de producir un modelo basado en combustible nuclear, acabamos con un modelo que ha producido energía más que suficiente por contracción gravitatoria, mientras que la contribución del combustible nuclear terminó siendo irrelevante.*

Aceleración debida a presión de radiación:

$$a_{\text{rad}} = \frac{\sigma_T}{\mu_p} \frac{L}{4\pi c r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{a_{\text{rad}}}{g} = \frac{\sigma_T L}{4\pi c \mu_p G M_\bullet} = \frac{L}{L_E}$$

donde

$$L_E = \frac{4\pi c G M_\bullet \mu_p}{\sigma_T} = 1.51 \times 10^{31} \frac{M_\bullet}{M_\odot} \text{ W}$$

$$\therefore L = 10^{40} \text{ W} \Rightarrow M_\bullet \sim 10^9 M_\odot$$

Aceleración debida a presión de radiación:

$$a_{\text{rad}} = \frac{\sigma_{\text{T}}}{\mu_{\text{p}}} \frac{L}{4\pi c r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{a_{\text{rad}}}{g} = \frac{\sigma_{\text{T}} L}{4\pi c \mu_{\text{p}} G M_{\bullet}} = \frac{L}{L_{\text{E}}}$$

donde

$$L_{\text{E}} = \frac{4\pi c G M_{\bullet} \mu_{\text{p}}}{\sigma_{\text{T}}} = 1.51 \times 10^{31} \frac{M_{\bullet}}{M_{\odot}} \text{ W}$$

$$\therefore L = 10^{40} \text{ W} \Rightarrow M_{\bullet} \sim 10^9 M_{\odot}$$

Aceleración debida a presión de radiación:

$$a_{\text{rad}} = \frac{\sigma_{\text{T}}}{\mu_{\text{p}}} \frac{L}{4\pi c r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{a_{\text{rad}}}{g} = \frac{\sigma_{\text{T}} L}{4\pi c \mu_{\text{p}} G M_{\bullet}} = \frac{L}{L_{\text{E}}}$$

donde

$$L_{\text{E}} = \frac{4\pi c G M_{\bullet} \mu_{\text{p}}}{\sigma_{\text{T}}} = 1.51 \times 10^{31} \frac{M_{\bullet}}{M_{\odot}} \text{ W}$$

$$\therefore L = 10^{40} \text{ W} \Rightarrow M_{\bullet} \sim 10^9 M_{\odot}$$

Núcleos Seyfert & radiogalaxias:  
versiones a escala de QSO

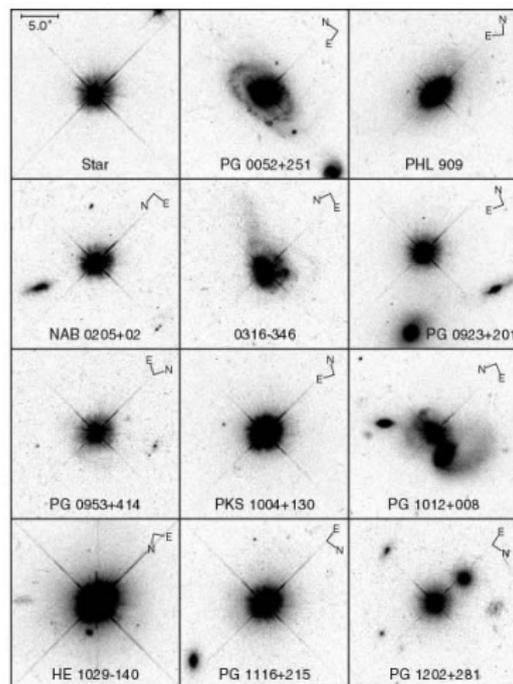
¿Son también los cuasares núcleos de galaxias?

Núcleos Seyfert & radiogalaxias:  
versiones a escala de QSO

¿Son también los cuasares núcleos de galaxias?

# Sy + RG + QSO = AGN

Los cuasares **son** núcleos de galaxias



(Bahcall et al. 1997)



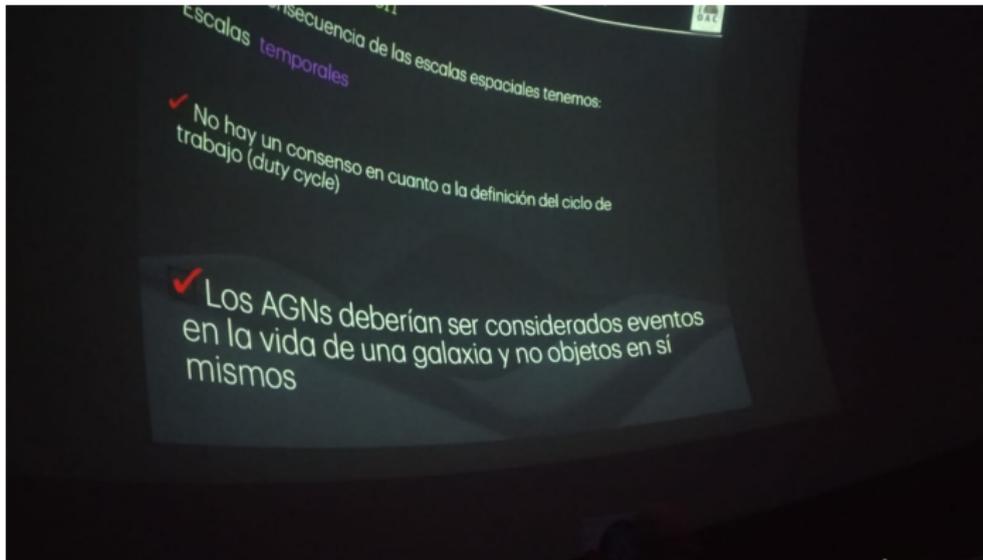
## Núcleos Galácticos Activos (AGN)

- galaxias Seyfert,
- radiogalaxias,
- cuasares (y blazares)

¿Que es un AGN?... galaxias.

Se llama AGN al fenómeno por el cual la región central (núcleo) de las galaxias emiten cantidades tales de energía que no pueden ser explicadas por procesos astrofísicos propios de las poblaciones estelares.

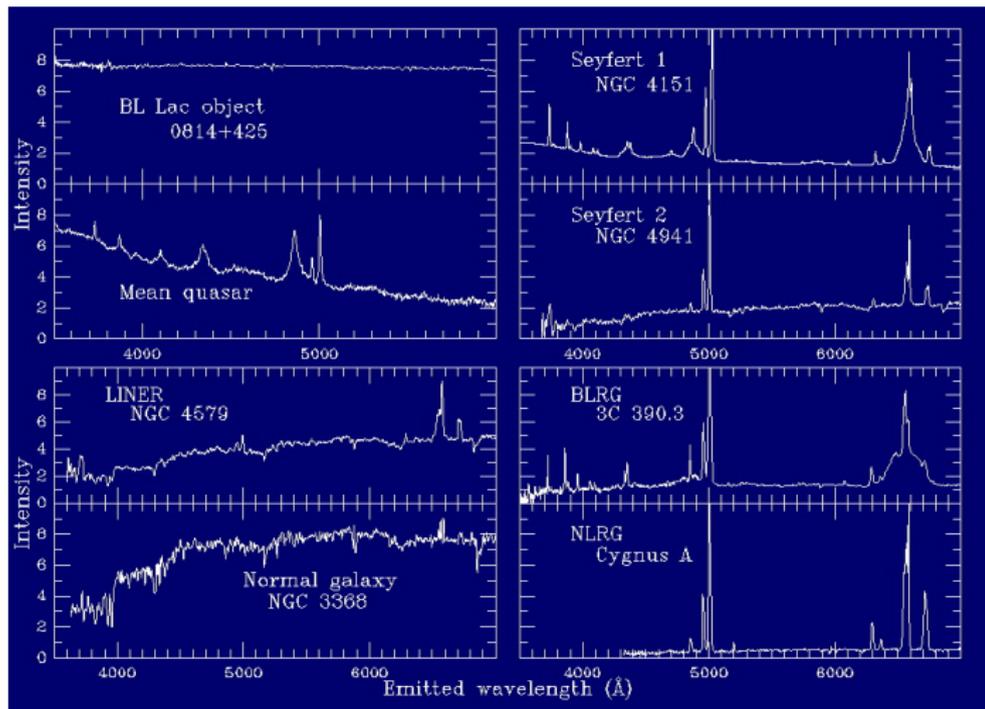
# Un AGN no es un objeto



(Dr. Damián Mast, 2024)

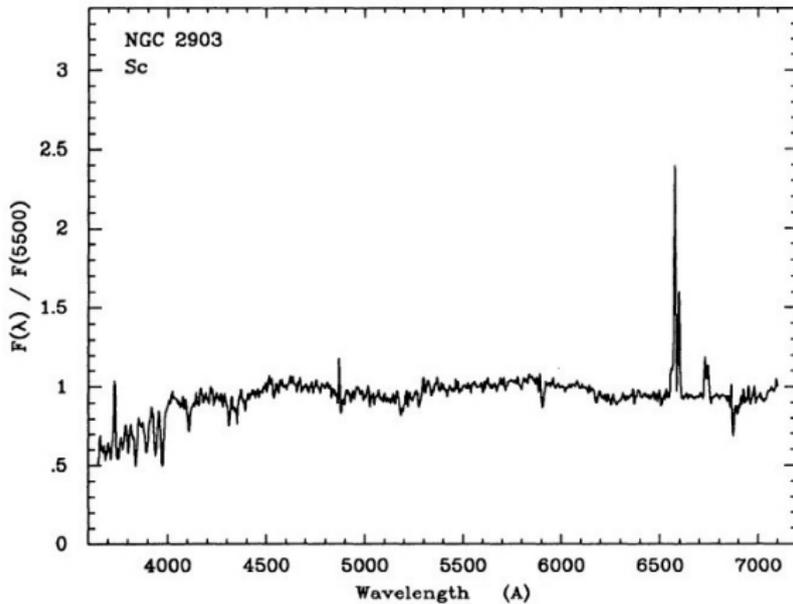
- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar**
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos

# Espectros ópticos de AGN



# Espectros ópticos

¿Qué entendemos por *alta excitación*?

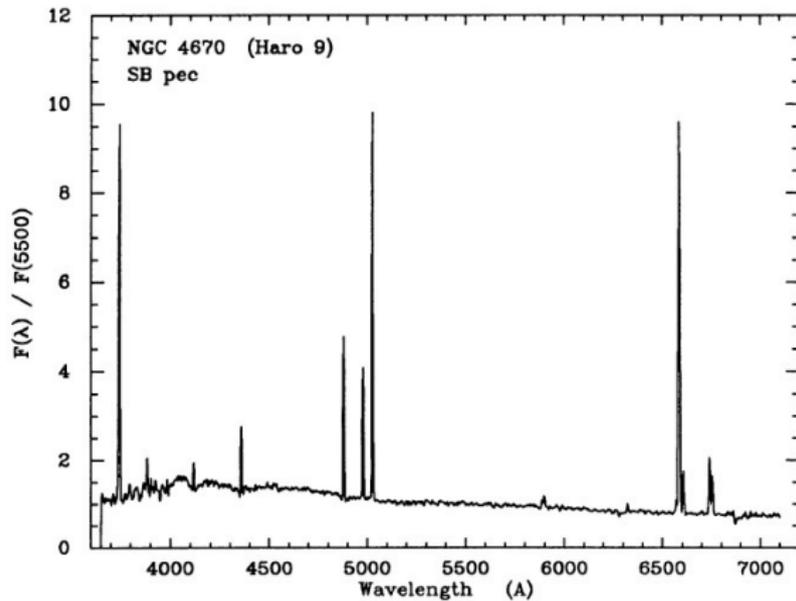


galaxia Sc normal

(Kennicutt 1992)

# Espectros ópticos

¿Qué entendemos por *alta excitación*?

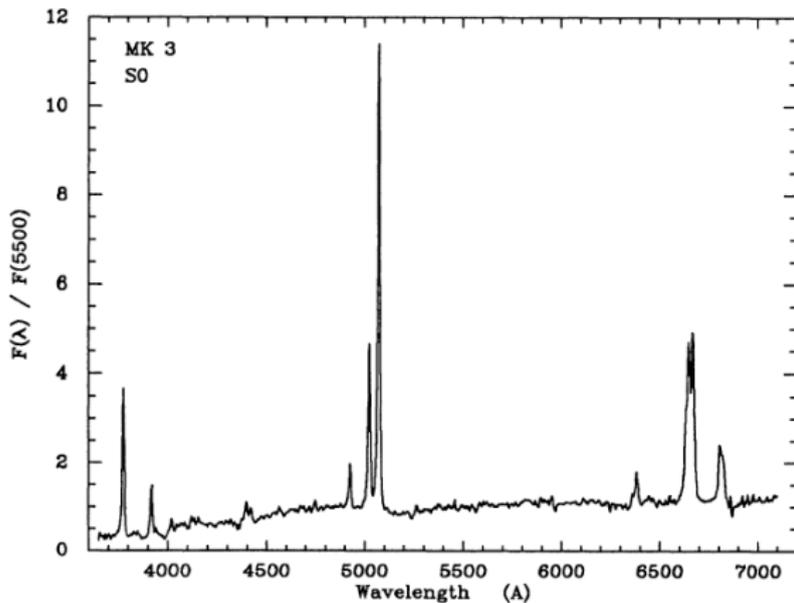


espiral  
magallánica

(Kennicutt 1992)

# Espectros ópticos

¿Qué entendemos por *alta excitación*?



Seyfert (2)

(Kennicutt 1992)

# Espectros ópticos

## Diagramas de diagnóstico

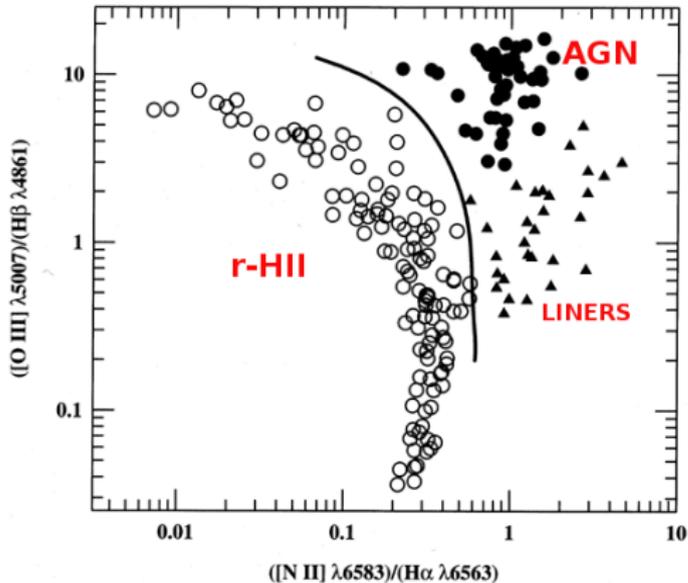
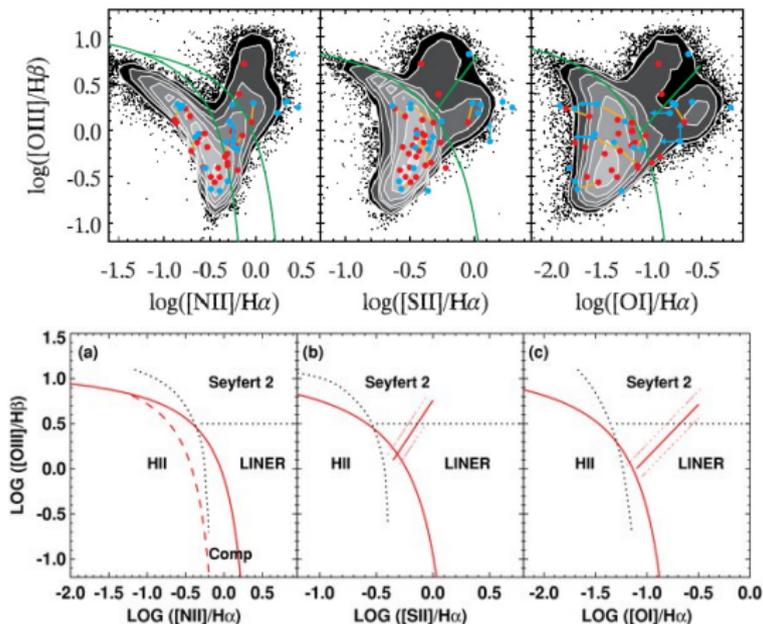


Diagrama de diagnóstico  
(Baldwin, Phillips, &  
Terlevich 1981)

# Espectros ópticos

## Diagramas de diagnóstico (SDSS)



Regiones de líneas de emisión nucleares de baja ionización  
(LINERS: *Low-Ionization Nuclear Emission-line Regions*)

Pueden ser:

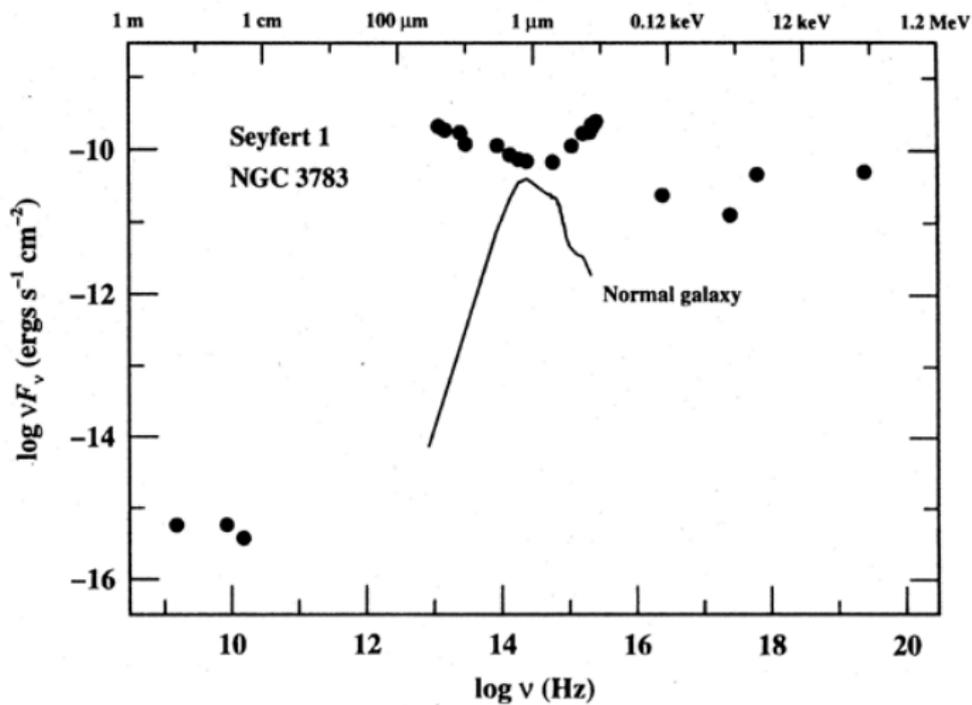
- AGN diluido
- Otro tipo de excitación (*cooling flow - starburst driven winds - shock heated gas - HOLMES*)

Regiones de líneas de emisión nucleares de baja ionización  
(LINERS: *Low-Ionization Nuclear Emission-line Regions*)

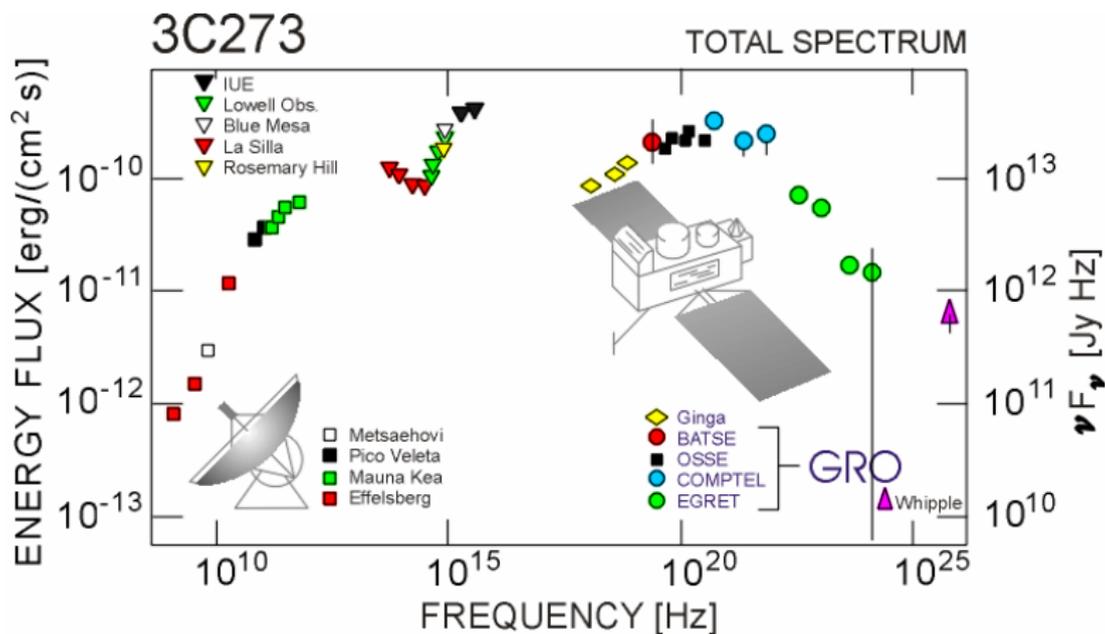
Pueden ser:

- AGN diluido
- Otro tipo de excitación (*cooling flow - starburst driven winds - shock heated gas - HOLMES*)

# Distribución espectral de energía

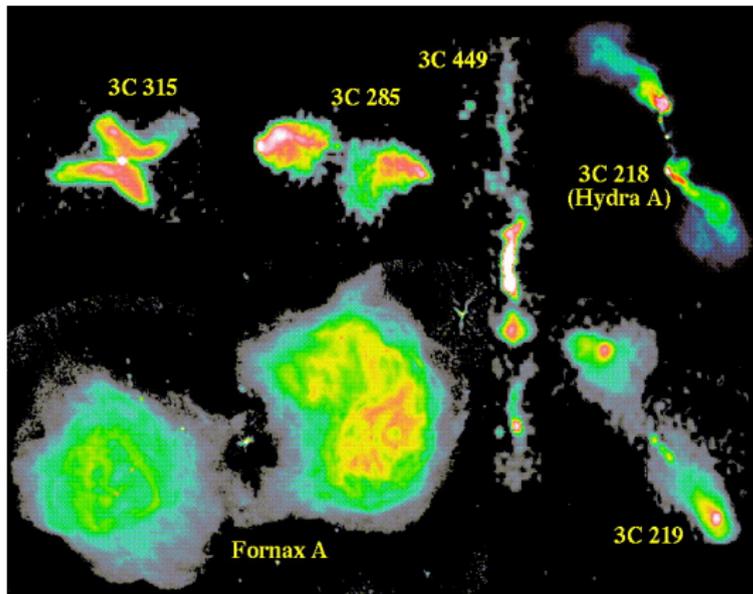


# Distribución espectral de energía



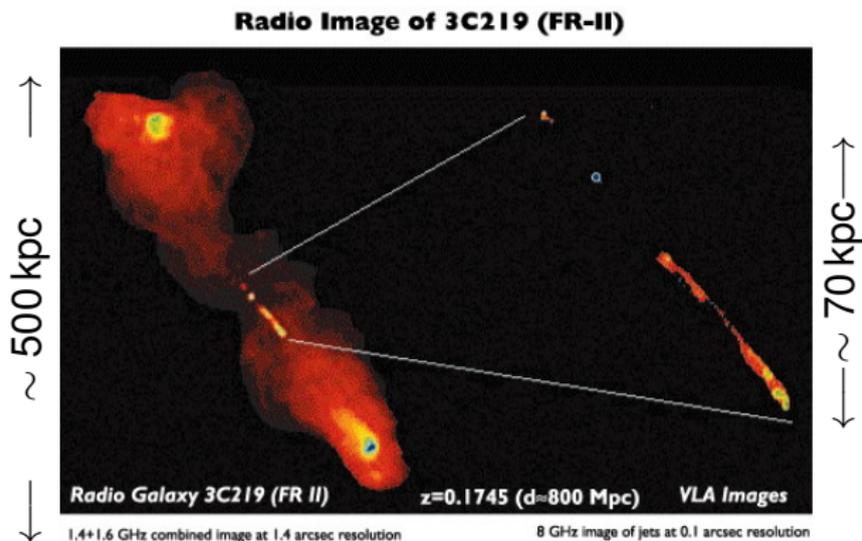
# Emisión en radio

Jets y lóbulos



("Images from the Invisible Universe", NRAO)

21 cm (1.4 GHz) VLA — 11 cm (2.7 GHz) MRAO

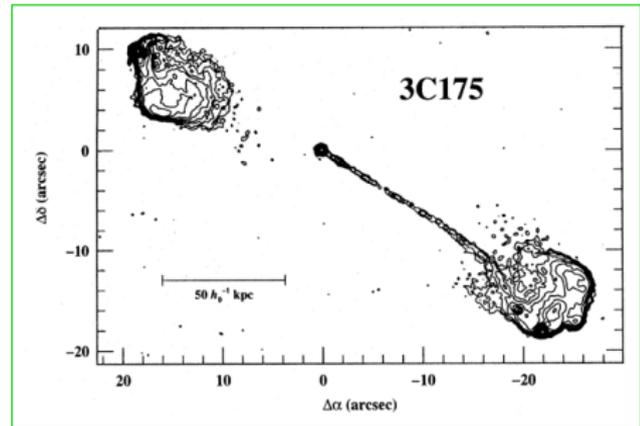
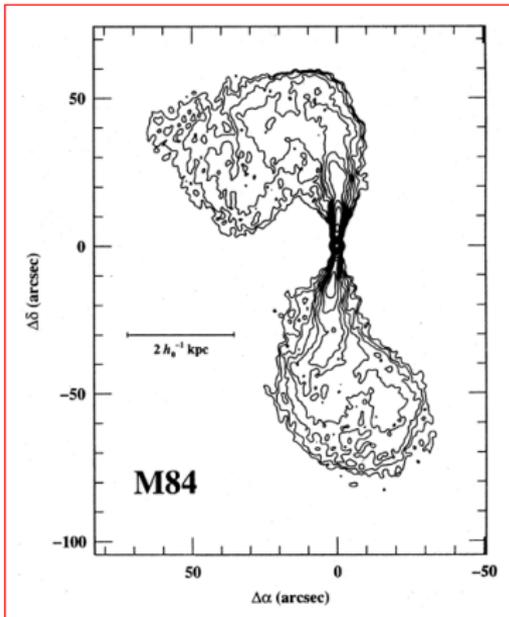


lóbulos de radio: espectro **empinado**

Jets: espectro **plano**

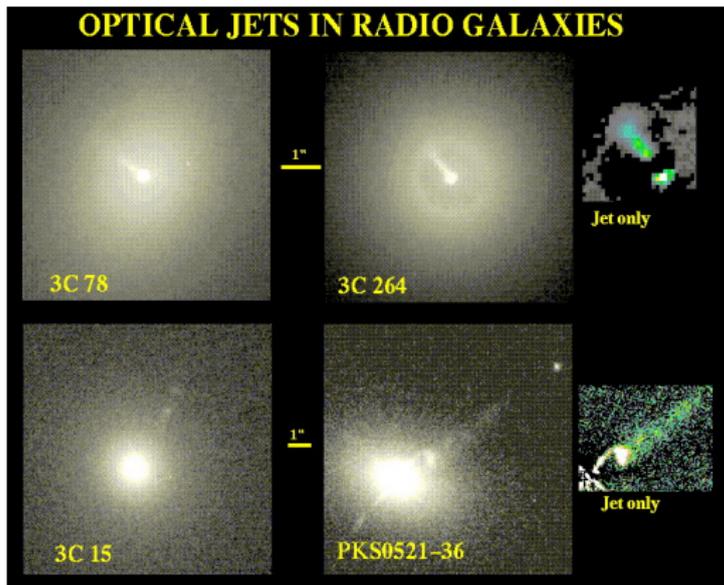
# Emisión en radio

Jets y lóbulos

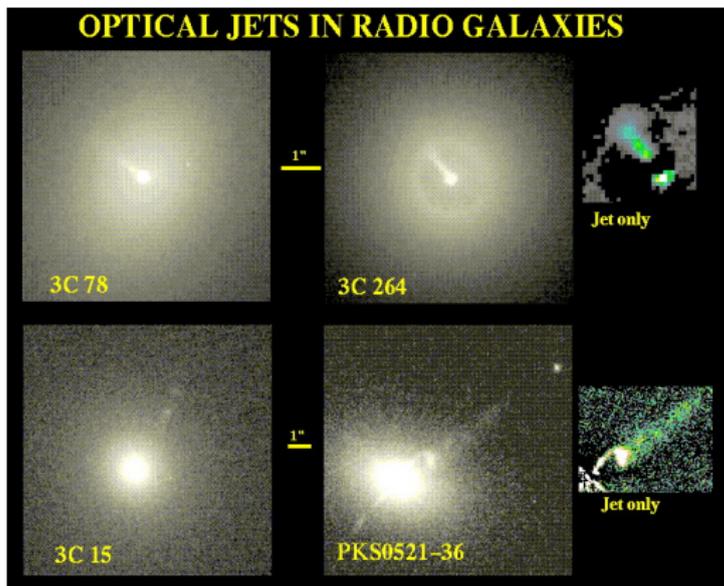


clase Fanaroff-Riley II - (FR II)

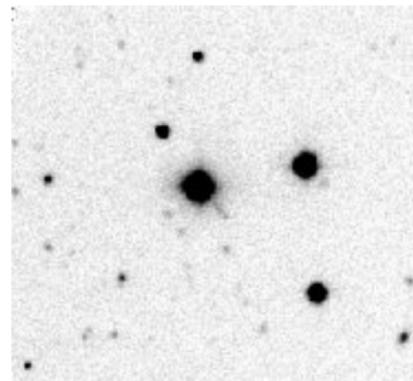
clase Fanaroff-Riley I - (FR I)



(imágenes HST - S. Baum & A. Martel)

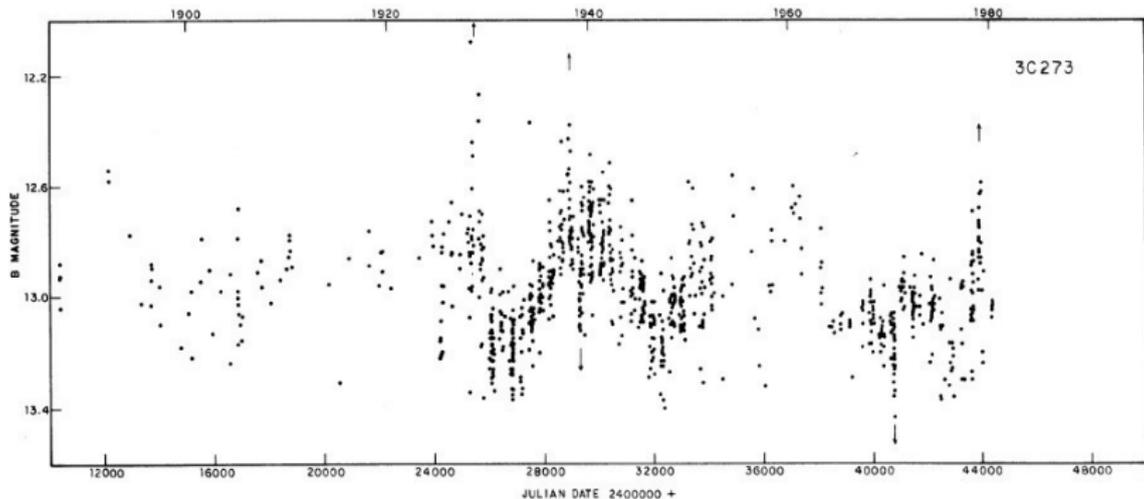


(imágenes HST - S. Baum & A. Martel)



3C 273

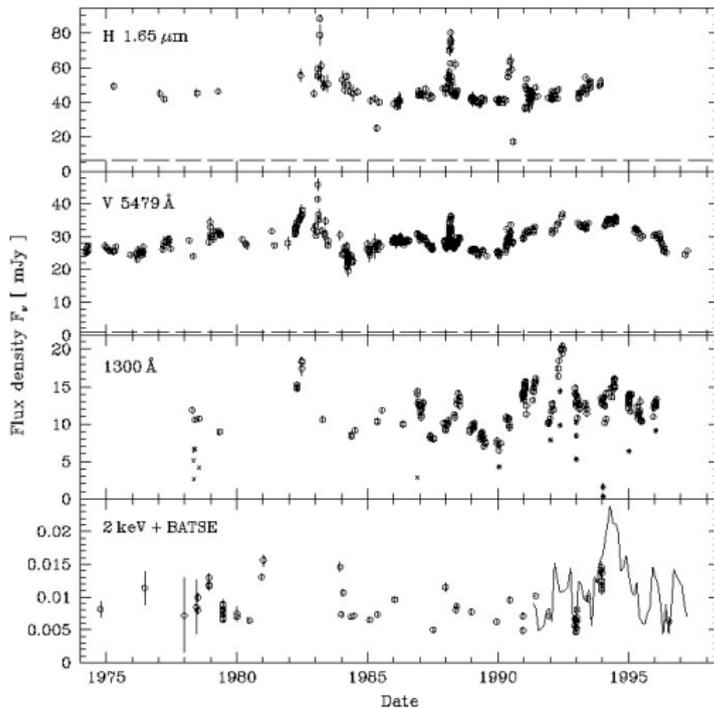
# Variabilidad a largo plazo



cuasar 3C 273

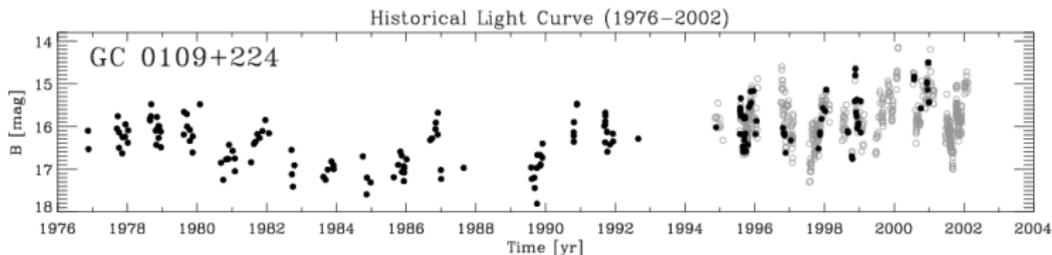
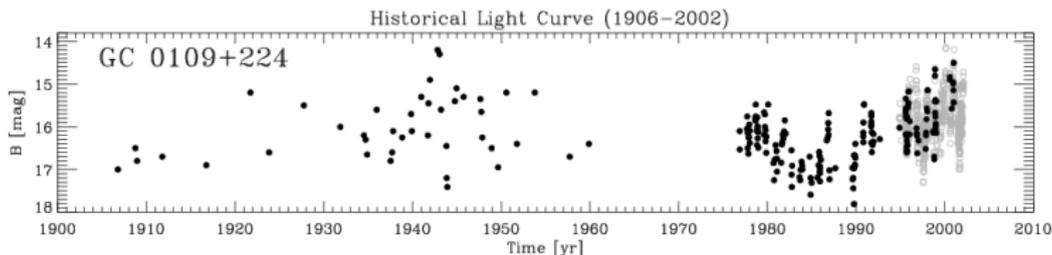
curva de luz histórica (Angione & Smith 1985):  $\Delta m \simeq 1 \text{ mag}$

# Variabilidad a largo plazo



cuasar 3C 273  
curva de luz multi- $\lambda$   
(Türler et al. 1999):

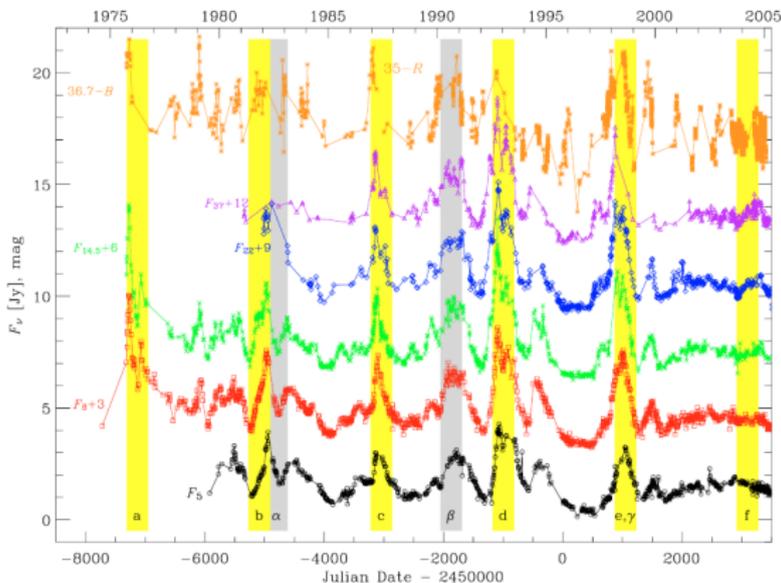
# Variabilidad a largo plazo



blazar GC 0109+224

curva de luz histórica (Ciprini et al. 2003):  $\Delta m \simeq 4 \text{ mag}$

# Variabilidad a largo plazo



blazar  
AO 0235+164  
curva de luz óptica -  
radio  
(Raiteri et al. 2006)  
 $\Delta m \gtrsim 7 \text{ mag}$

# Propiedades básicas de los AGN

Los AGN tienen:

**Alta luminosidad:**  $\sim 10^{35} \rightarrow 10^{41} \text{ J}$   
i.e.,  $\sim 10^{-2} \rightarrow 10^4 \mathcal{L}^*$

**Tamaño chico:** motor central  $\lesssim 10^0 \text{ pc}$

- no resuelto en AGN cercanos
- variabilidad: escala temporal  $\sim$  pocos años

**Larga vida:**  $\sim 10^9$  años

- función de luminosidad con  $z$
- densidad de AGN vs. densidad de galaxias luminosas

# Propiedades básicas de los AGN

Los AGN tienen:

**Alta luminosidad:**  $\sim 10^{35} \rightarrow 10^{41} \text{ J}$   
i.e.,  $\sim 10^{-2} \rightarrow 10^4 \mathcal{L}^*$

**Tamaño chico:** motor central  $\lesssim 10^0 \text{ pc}$

- no resuelto en AGN cercanos
- variabilidad: escala temporal  $\sim$  pocos años

**Larga vida:**  $\sim 10^9$  años

- función de luminosidad con  $z$
- densidad de AGN vs. densidad de galaxias luminosas

# Propiedades básicas de los AGN

Los AGN tienen:

**Alta luminosidad:**  $\sim 10^{35} \rightarrow 10^{41} \text{ J}$   
i.e.,  $\sim 10^{-2} \rightarrow 10^4 \mathcal{L}^*$

**Tamaño chico:** motor central  $\lesssim 10^0 \text{ pc}$

- no resuelto en AGN cercanos
- variabilidad: escala temporal  $\sim$  pocos años

**Larga vida:**  $\sim 10^9$  años

- función de luminosidad con  $z$
- densidad de AGN vs. densidad de galaxias luminosas

Forma más eficiente de entregar energía:  
acreción a un potencial gravitatorio relativísticamente profundo

$$\eta \sim 0.1$$

## Necesidad de una masa grande

- emisión de energía
- luminosidad de Eddington
- líneas de emisión anchas
- flujos relativistas de materia (*jets*)

## Un único agujero negro súper masivo (SMBH)

- estabilidad
- variabilidad coherente
- jets bien colimados

## El modelo debería explicar también:

- naturaleza de la emisión del continuo
- naturaleza de la emisión de líneas
- líneas anchas vs. líneas angostas
- radio intensos vs. radio silenciosos
- jets & lóbulos de radio
- blazares

## El modelo debería explicar también:

- naturaleza de la emisión del continuo
- naturaleza de la emisión de líneas
- líneas anchas vs. líneas angostas
- radio intensos vs. radio silenciosos
- jets & lóbulos de radio
- blazares

## El modelo debería explicar también:

- naturaleza de la emisión del continuo
- naturaleza de la emisión de líneas
- líneas anchas vs. líneas angostas
- radio intensos vs. radio silenciosos
- jets & lóbulos de radio
- blazares

## El modelo debería explicar también:

- naturaleza de la emisión del continuo
- naturaleza de la emisión de líneas
- líneas anchas vs. líneas angostas
- radio intensos vs. radio silenciosos
- jets & lóbulos de radio
- blazares

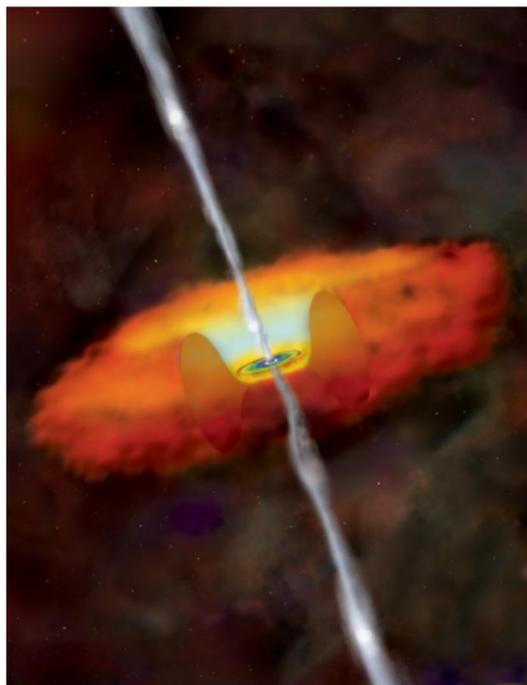
## El modelo debería explicar también:

- naturaleza de la emisión del continuo
- naturaleza de la emisión de líneas
- líneas anchas vs. líneas angostas
- radio intensos vs. radio silenciosos
- jets & lóbulos de radio
- blazares

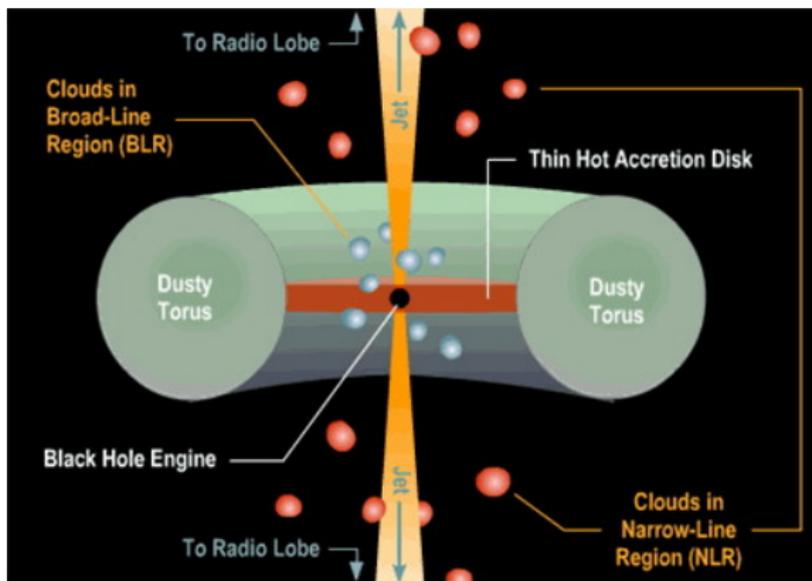
## El modelo debería explicar también:

- naturaleza de la emisión del continuo
- naturaleza de la emisión de líneas
- líneas anchas vs. líneas angostas
- radio intensos vs. radio silenciosos
- jets & lóbulos de radio
- blazares

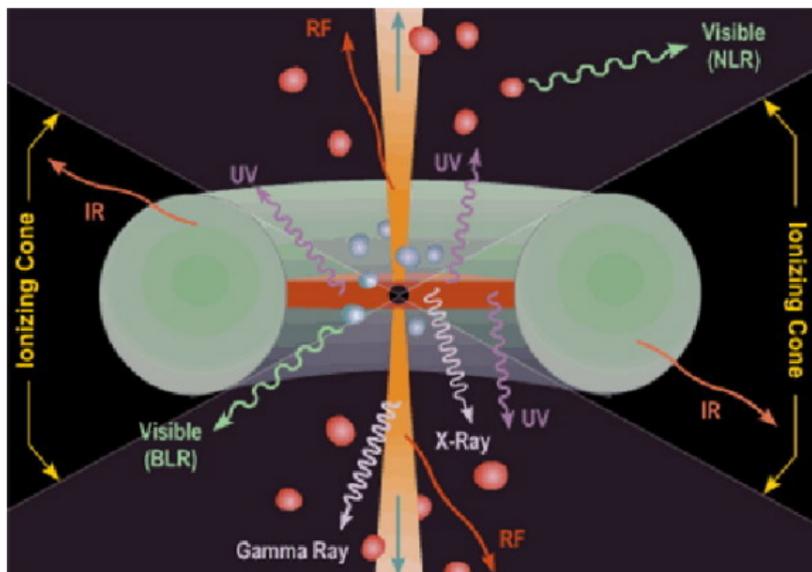
# El modelo estándar



# El modelo estándar



# El modelo estándar

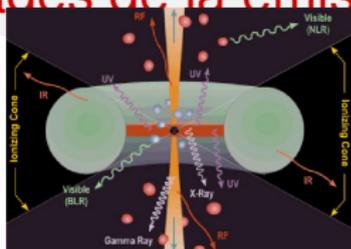


(Brooks/Cole Thomson Learning)

Este modelo complejo funciona porque:

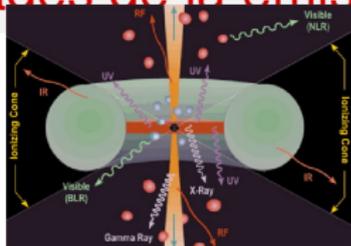
- 1  $\neq$  componentes  $\rightarrow$  emisión a  $\neq$  frecuencias
- 2 es anisótropo  $\rightarrow$   $\neq$  tipos de AGN según orientación

# Propiedades de la emisión



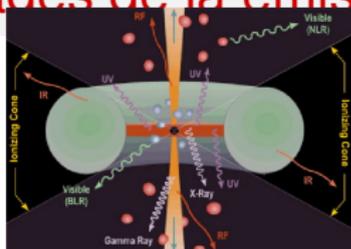
componente	mecanismo de emisión	rango espectral
disco de acreción	térmica ( $T \lesssim 10^5$ K)	óptico, NIR → rayos-X blandos
toro de gas y polvo	emisión del AD reprocesada	sub-mm → IR
BLR – NLR	recombinación	óptico (líneas)
jet (kpc)	sincrotrón	radio
jet (pc)	Compton inverso	→ rayos- $\gamma$
corona del disco	libre-libre	rayos-X duros

# Propiedades de la emisión



componente	mecanismo de emisión	rango espectral
disco de acreción	térmica ( $T \lesssim 10^5$ K)	óptico, NIR → rayos-X blandos
toro de gas y polvo	emisión del AD reprocesada	sub-mm → IR
BLR – NLR	recombinación	óptico (líneas)
jet (kpc)	sincrotrón	radio
jet (pc)	Compton inverso	→ rayos- $\gamma$
corona del disco	libre-libre	rayos-X duros

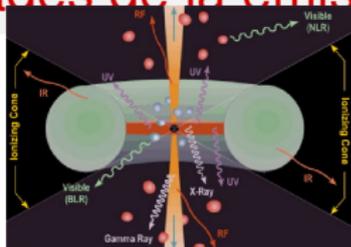
# Propiedades de la emisión



componente	mecanismo de emisión	rango espectral
disco de acreción	térmica ( $T \lesssim 10^5$ K)	óptico, NIR → rayos-X blandos
toro de gas y polvo	emisión del AD reprocesada	sub-mm → IR
BLR – NLR	recombinación	óptico (líneas)
jet (kpc)	sincrotrón	radio
jet (pc)	Compton inverso	→ rayos- $\gamma$
corona del disco	libre-libre	rayos-X duros

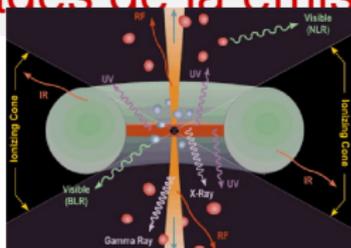


# Propiedades de la emisión



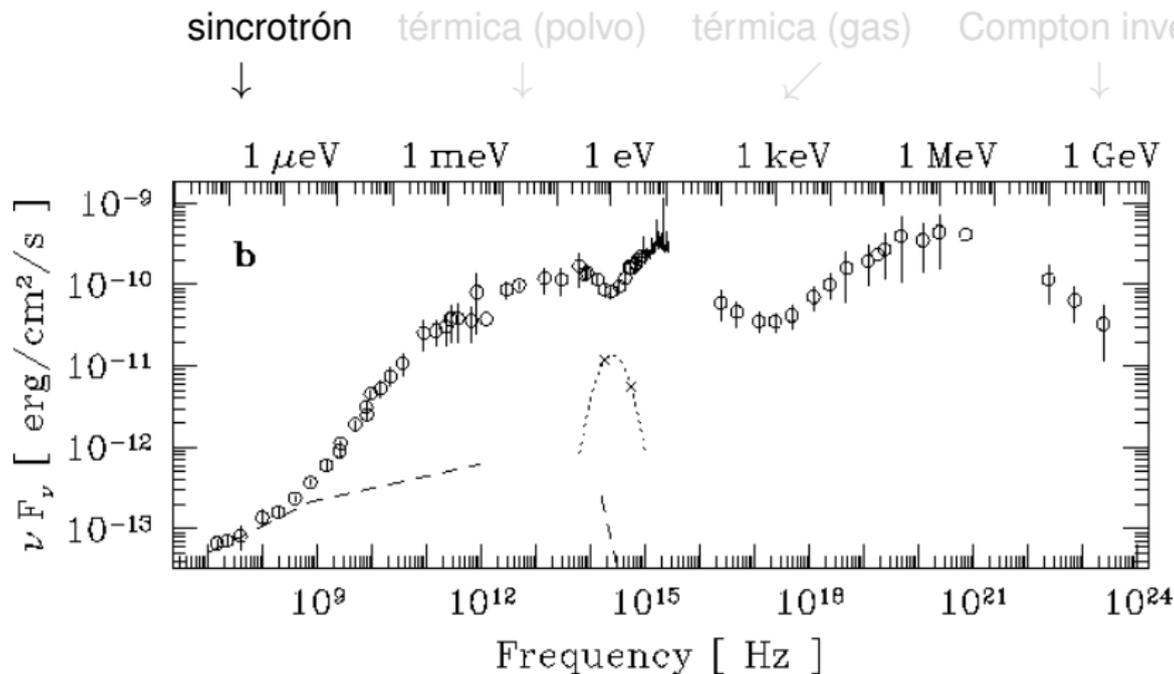
componente	mecanismo de emisión	rango espectral
disco de acreción	térmica ( $T \lesssim 10^5$ K)	óptico, NIR → rayos-X blandos
toro de gas y polvo	emisión del AD reprocesada	sub-mm → IR
BLR – NLR	recombinación	óptico (líneas)
jet (kpc)	sincrotrón	radio
jet (pc)	Compton inverso	→ rayos- $\gamma$
corona del disco	libre-libre	rayos-X duros

# Propiedades de la emisión

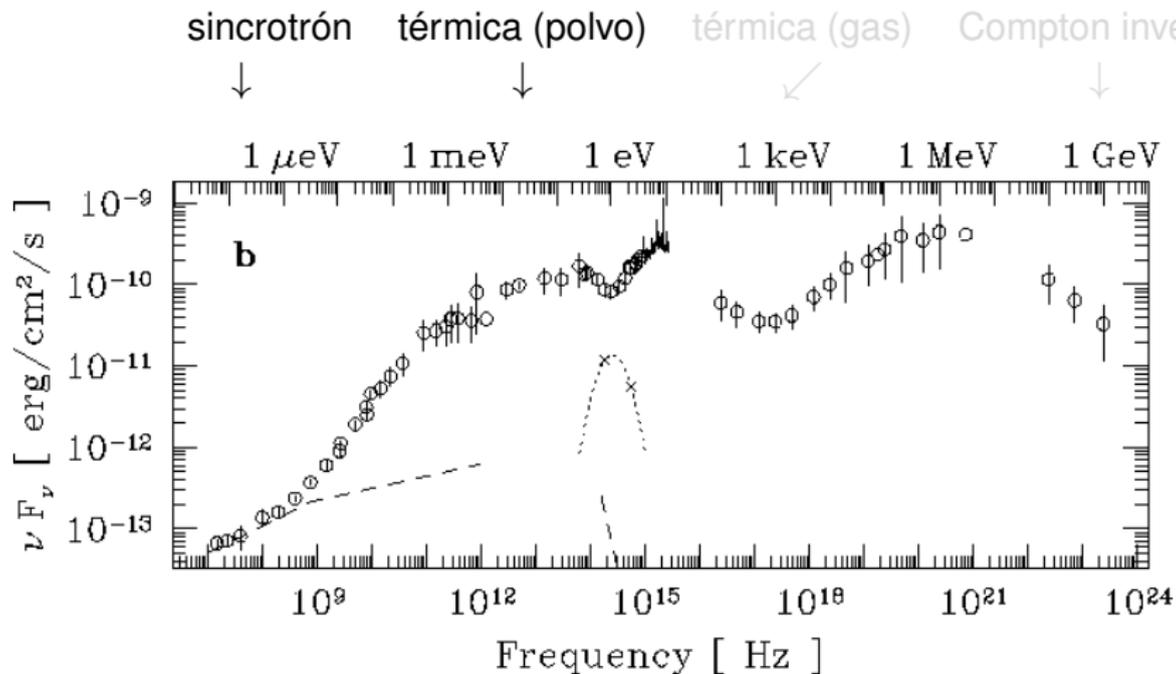


componente	mecanismo de emisión	rango espectral
disco de acreción	térmica ( $T \lesssim 10^5$ K)	óptico, NIR → rayos-X blandos
toro de gas y polvo	emisión del AD reprocesada	sub-mm → IR
BLR – NLR	recombinación	óptico (líneas)
jet (kpc)	sincrotrón	radio
jet (pc)	Compton inverso	→ rayos- $\gamma$
corona del disco	libre-libre	rayos-X duros

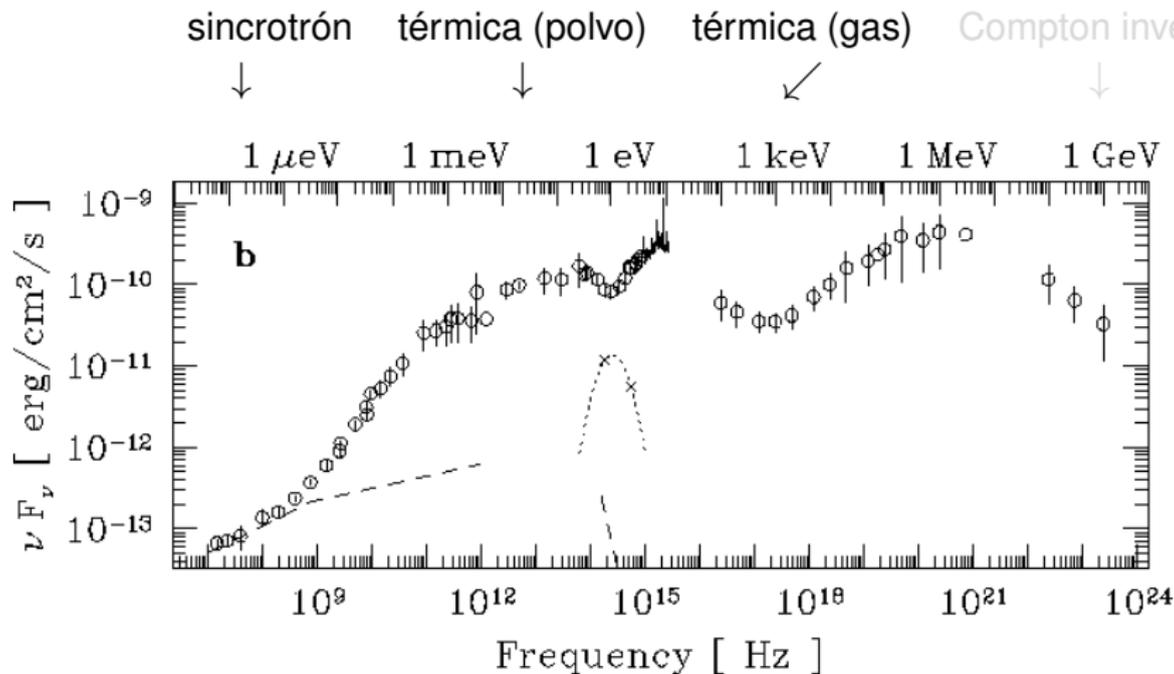
# Emisión del continuo



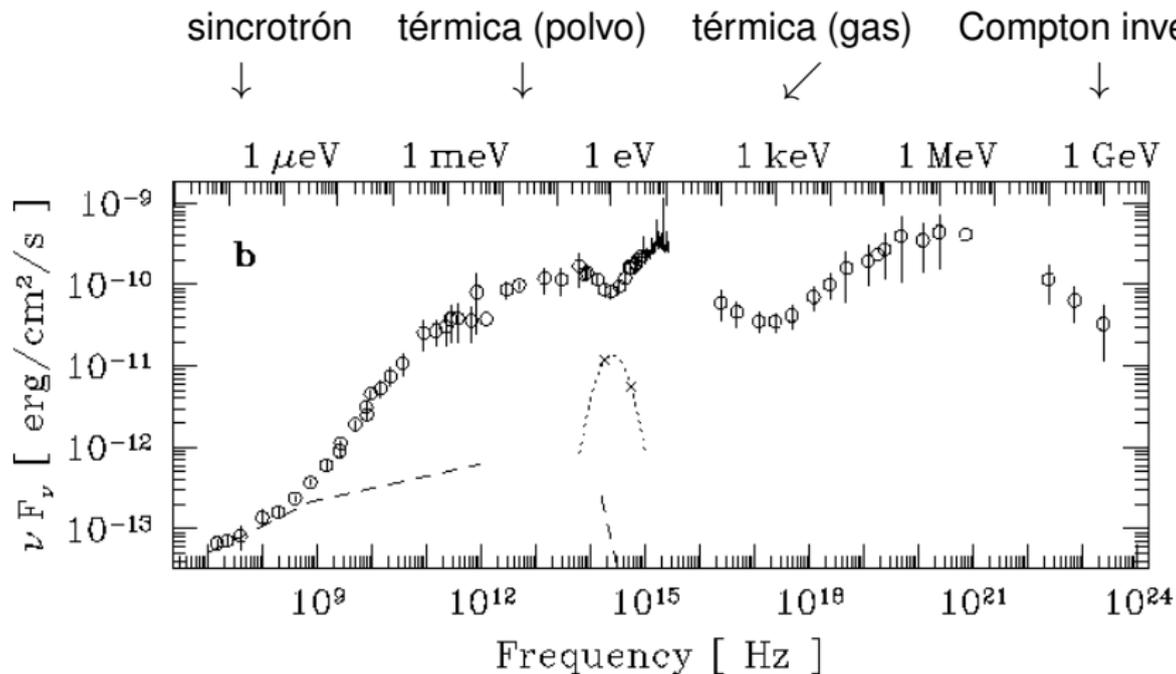
# Emisión del continuo



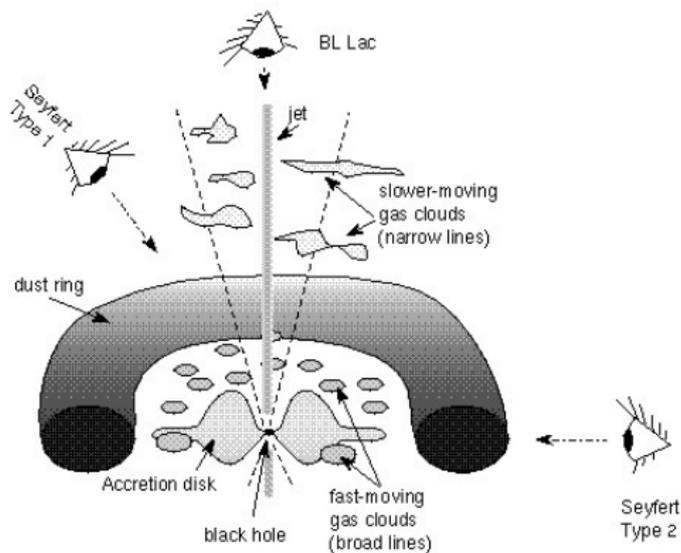
# Emisión del continuo



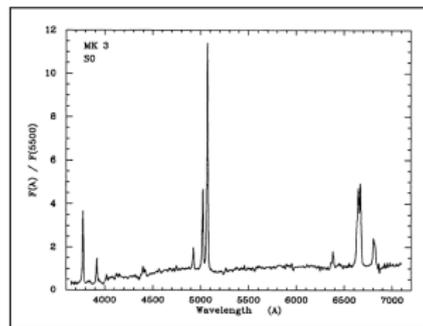
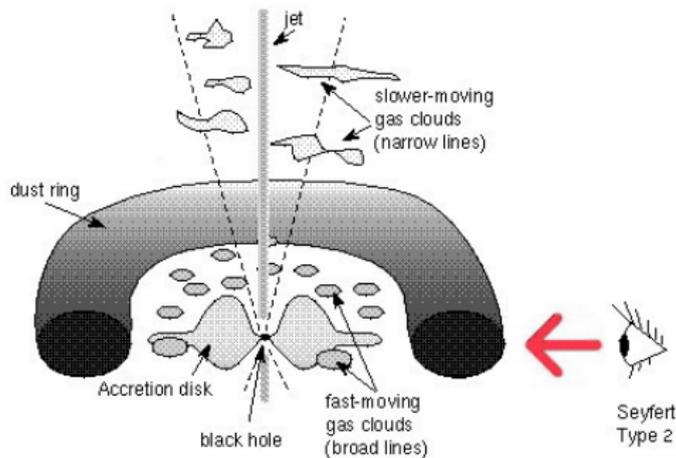
# Emisión del continuo



- extinción
- *beaming*

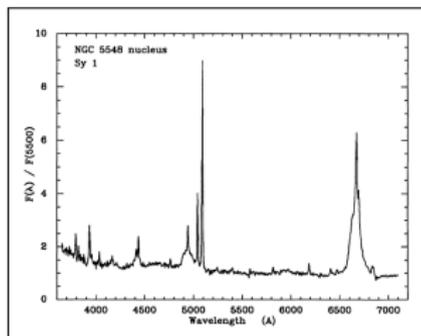
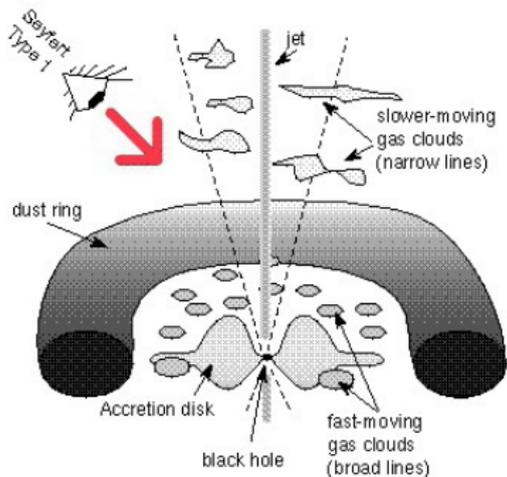


- **extinción**
- *beaming*



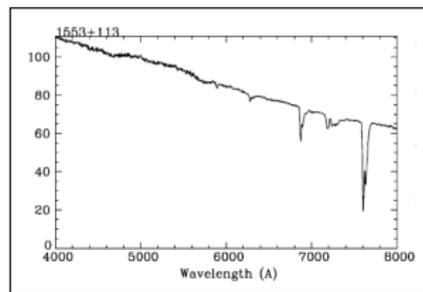
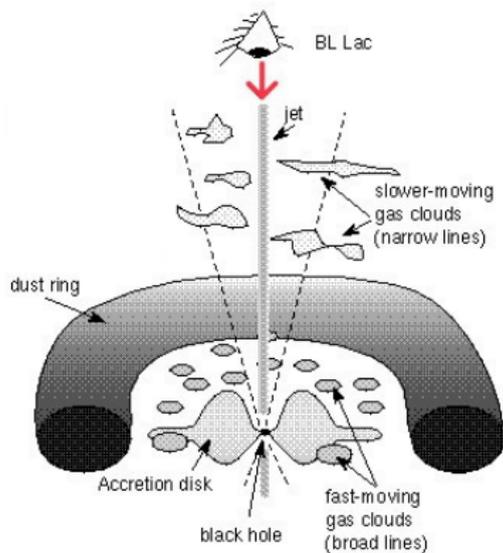
Sy 2 o NLRG  
(o QSO “oscurecido”)

- **extinción**
- *beaming*



Sy 1 o BLRG  
(o QSO "normal")

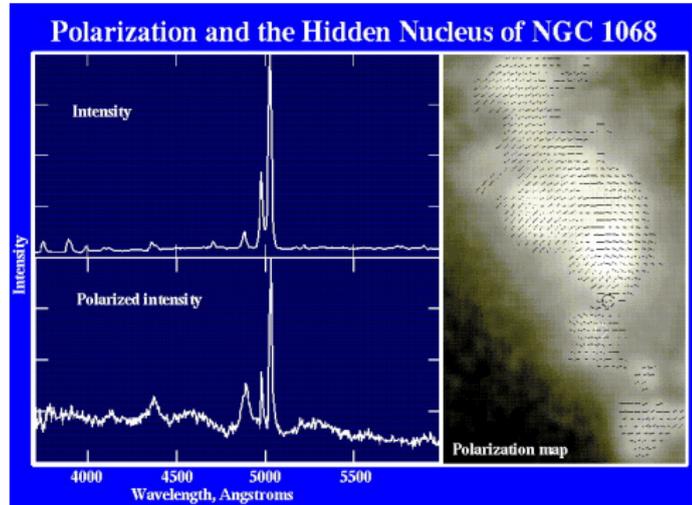
- extinción
- *beaming*



blazar

NGC 1068  
(Antonucci & Miller 1985):

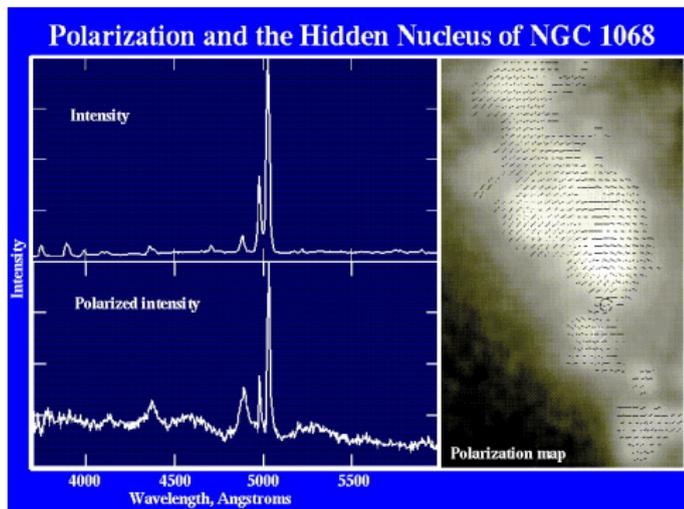
- luz “normal” → Sy 2
- luz polarizada → líneas tipo Sy 1



luz de la BLR dispersada por electrones hacia la visual

NGC 1068  
(Antonucci & Miller 1985):

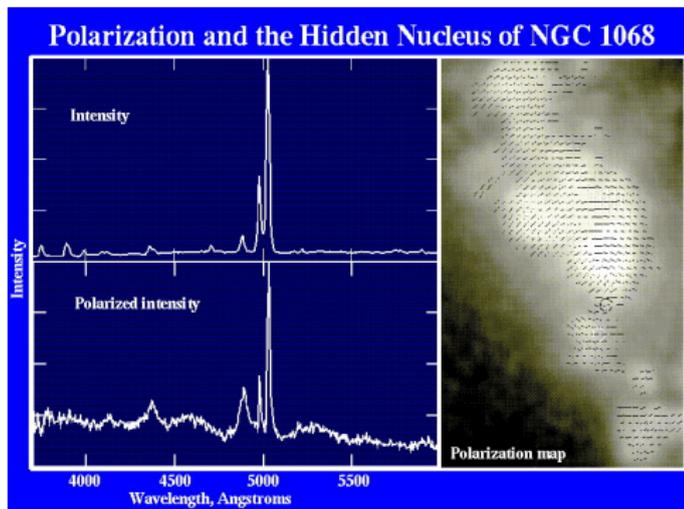
- luz “normal” → Sy 2
- luz polarizada → líneas tipo Sy 1



luz de la BLR dispersada por electrones hacia la visual

NGC 1068  
(Antonucci & Miller 1985):

- luz “normal” → Sy 2
- luz polarizada → líneas tipo Sy 1



luz de la BLR dispersada por electrones hacia la visual

Tamaños aproximados de las componentes de un AGN

$$M_{\text{BH}} = 10^8 M_{\odot}, d = 1 \text{ Gpc } (z \simeq 0.35)$$

Región	Tamaño		
	[LTT]	[AU] – [pc]	[arcsec]
$R_S$	15 min	2 AU	$2 \times 10^{-9}$
AD	1 h ~ 1 d	7 ~ 200 AU	$7 \times 10^{-9} \sim 2 \times 10^{-7}$
BLR	8 ~ 80 d	$10^3 \sim 10^4$ AU	$10^{-6} \sim 10^{-5}$
$R_{\text{DT}}$ (int.)	~ 40 d	~ $5 \times 10^3$ AU	$5 \times 10^{-6}$
NLR	1 ~ 100 yr	0.3 ~ 30 pc	$5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$
radio jets	$\lesssim 10^6$ yr	$\lesssim 300$ kpc	$\lesssim 60$

Tamaños aproximados de las componentes de un AGN

$$M_{\text{BH}} = 10^8 M_{\odot}, d = 1 \text{ Gpc } (z \simeq 0.35)$$

Región	Tamaño		
	[LTT]	[AU] – [pc]	[arcsec]
$R_S$	15 min	2 AU	$2 \times 10^{-9}$
AD	1 h ~ 1 d	7 ~ 200 AU	$7 \times 10^{-9} \sim 2 \times 10^{-7}$
BLR	8 ~ 80 d	$10^3 \sim 10^4$ AU	$10^{-6} \sim 10^{-5}$
$R_{\text{DT}}$ (int.)	~ 40 d	~ $5 \times 10^3$ AU	$5 \times 10^{-6}$
NLR	1 ~ 100 yr	0.3 ~ 30 pc	$5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$
radio jets	$\lesssim 10^6$ yr	$\lesssim 300$ kpc	$\lesssim 60$

Tamaños aproximados de las componentes de un AGN

$$M_{\text{BH}} = 10^8 M_{\odot}, d = 1 \text{ Gpc } (z \simeq 0.35)$$

Región	Tamaño		
	[LTT]	[AU] – [pc]	[arcsec]
$R_S$	15 min	2 AU	$2 \times 10^{-9}$
AD	1 h ~ 1 d	7 ~ 200 AU	$7 \times 10^{-9} \sim 2 \times 10^{-7}$
BLR	8 ~ 80 d	$10^3 \sim 10^4$ AU	$10^{-6} \sim 10^{-5}$
$R_{\text{DT}}$ (int.)	~ 40 d	~ $5 \times 10^3$ AU	$5 \times 10^{-6}$
NLR	1 ~ 100 yr	0.3 ~ 30 pc	$5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$
radio jets	$\lesssim 10^6$ yr	$\lesssim 300$ kpc	$\lesssim 60$

Terlevich et al. (1992):  
fenomenología AGN explicada por *starbursts*

Debate previo: dicotomía “monstruo” vs. *starburst*  
reemplazada por convicción de que  
cada fenómeno tiene su propia importancia

Terlevich et al. (1992):

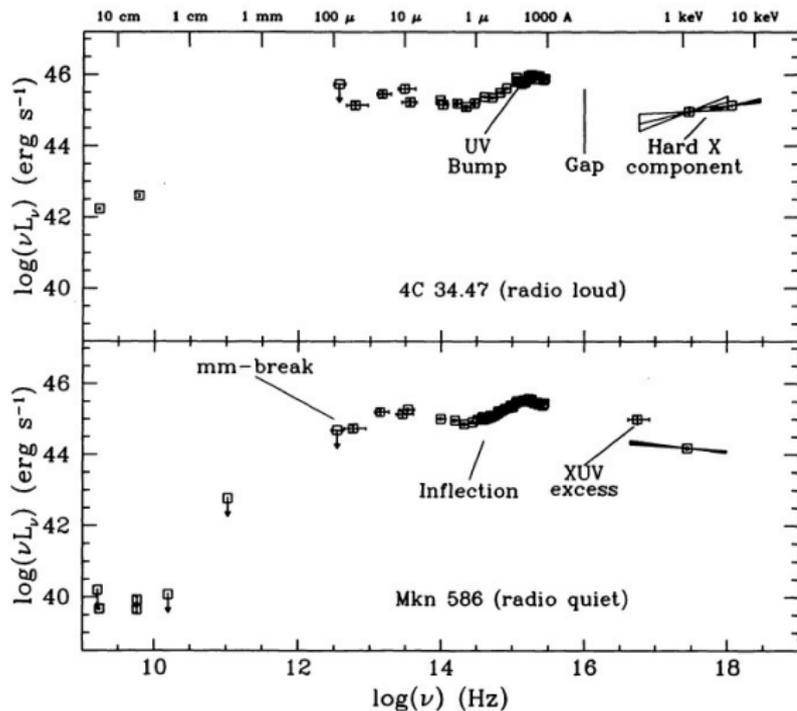
fenomenología AGN explicada por *starbursts*

Debate previo: dicotomía “**monstruo**” vs. *starburst*  
reemplazada por convicción de que  
cada fenómeno tiene su propia importancia

- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares**
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos

# La emisión del jet

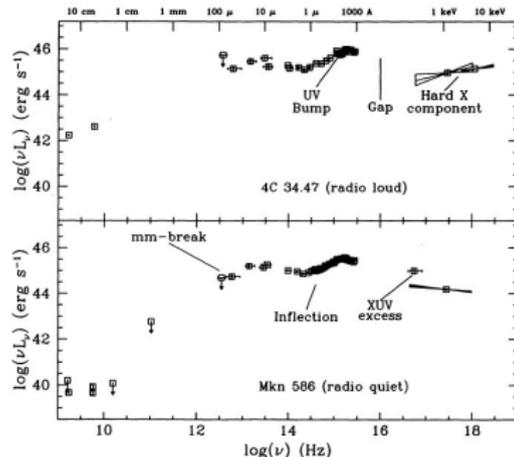
La dicotomía radio-intenso vs. radio-silencioso



# La emisión del jet

La dicotomía radio-intenso vs. radio-silencioso

Las SED de cuasares RL y RQ  
no difieren a frecuencias más altas

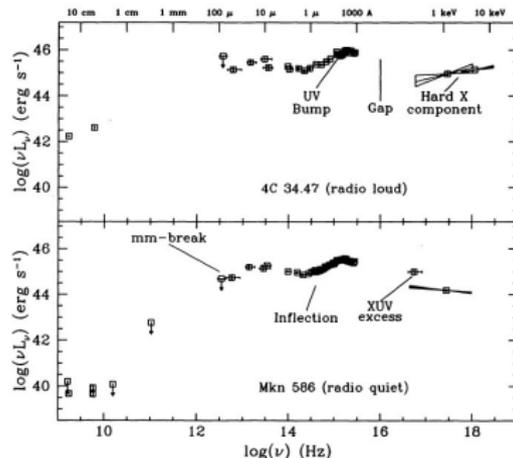


La existencia o no de un radio jet  
es básicamente independiente de la acreción

# La emisión del jet

La dicotomía radio-intenso vs. radio-silencioso

Las SED de cuasares RL y RQ  
no difieren a frecuencias más altas



La existencia o no de un radio jet  
es básicamente independiente de la acreción

RL AGN: nunca en galaxias S

RQ AGN: raramente en  
galaxias E

(e.g., Wilson & Colbert 1995)

Fusiones de galaxias →  
galaxias E con SMBH rotantes



Radio jet generado por rotación  
del SMBH

RL AGN: nunca en galaxias S

RQ AGN: raramente en  
galaxias E

(e.g., Wilson & Colbert 1995)

Fusiones de galaxias →  
galaxias E con SMBH rotantes



Radio jet generado por rotación  
del SMBH

# La emisión del jet

La dicotomía radio-intenso vs. radio-silencioso

RL AGN: nunca en galaxias S

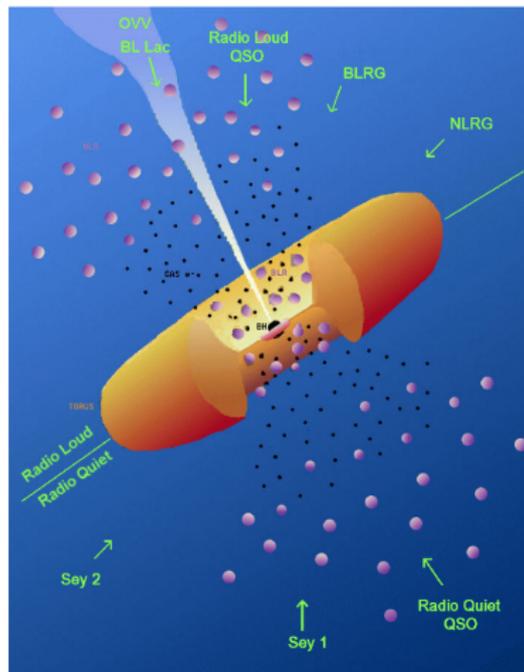
RQ AGN: raramente en galaxias E

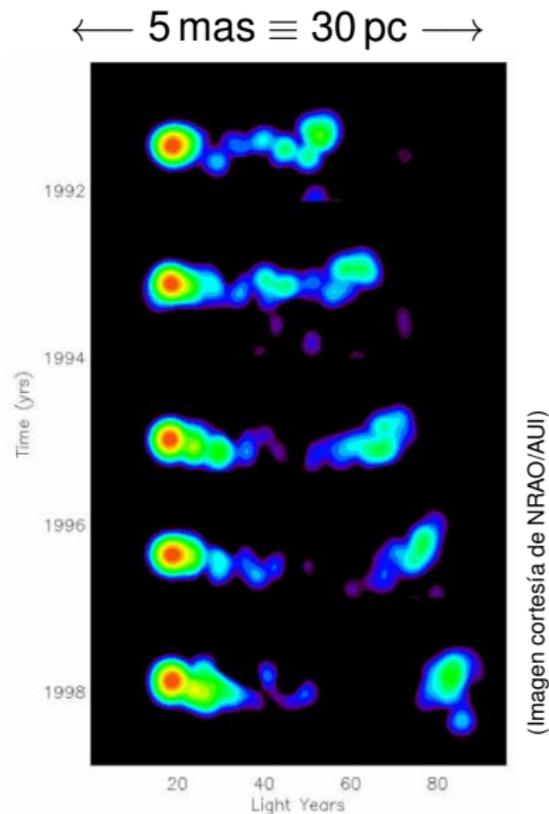
(e.g., Wilson & Colbert 1995)

Fusiones de galaxias →  
galaxias E con SMBH rotantes



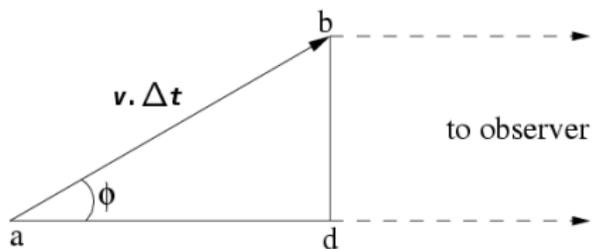
Radio jet generado por rotación  
del SMBH





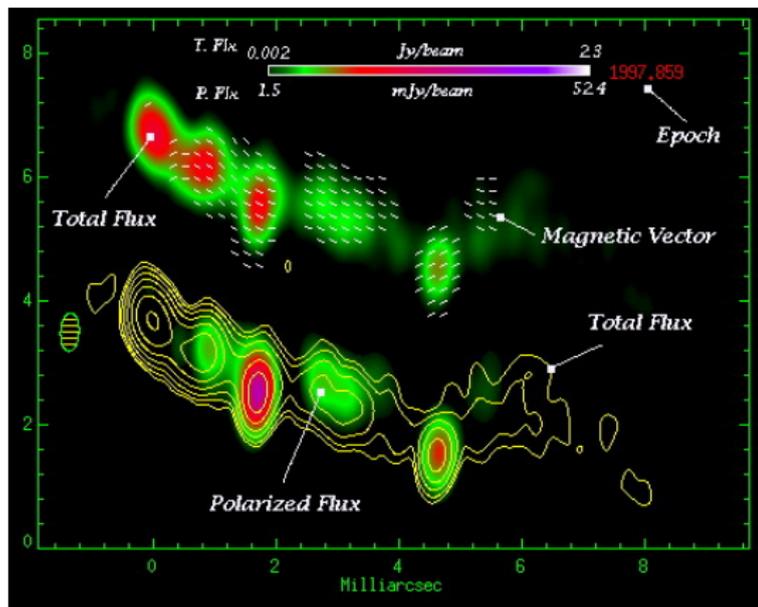
Radio jet del blazar 3C 279  
 $\sim 25$  años-luz en  $\sim 7$  años

$$\therefore v_{\text{ap}} \simeq 3.5 c$$



$$\beta_{\text{ap}} = \frac{\beta \sin \phi}{1 - \beta \cos \phi} \quad \left( \beta = \frac{v}{c} \right)$$

$$\beta \lesssim 1 \text{ y } \phi \gtrsim 0 \Rightarrow \beta_{\text{ap}} > 1$$



3C 120

Plasma con velocidad de bulto  $\beta = \frac{v}{c} \lesssim 1$  y ángulo  $\phi \gtrsim 0^\circ$

→ **emisión “enfocada” en la dirección del observador**

factor de Lorentz:  $\Gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$

factor Doppler:  $\delta = [\Gamma(1 - \beta \cos \phi)]^{-1}$

	marco en reposo	observador
tiempo	$t$	$\delta^{-1} t$
frecuencia	$\nu$	$\delta \nu$
intensidad	$I_\nu(\nu)$	$\delta^3 I_\nu(\nu)$
dens. de flujo	$F_\nu(\nu)$	$\delta^{(3+\alpha)} F_\nu(\nu)$
flujo banda ancha	$F$	$\delta^4 F$

Plasma con velocidad de bulto  $\beta = \frac{v}{c} \lesssim 1$  y ángulo  $\phi \gtrsim 0^\circ$

→ **emisión “enfocada” en la dirección del observador**

factor de Lorentz:  $\Gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$

factor Doppler:  $\delta = [\Gamma(1 - \beta \cos \phi)]^{-1}$

	marco en reposo	observador
tiempo	$t$	$\delta^{-1} t$
frecuencia	$\nu$	$\delta \nu$
intensidad	$I_\nu(\nu)$	$\delta^3 I_\nu(\nu)$
dens. de flujo	$F_\nu(\nu)$	$\delta^{(3+\alpha)} F_\nu(\nu)$
flujo banda ancha	$F$	$\delta^4 F$

Plasma con velocidad de bulto  $\beta = \frac{v}{c} \lesssim 1$  y ángulo  $\phi \gtrsim 0^\circ$

→ **emisión “enfocada” en la dirección del observador**

factor de Lorentz:  $\Gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$

factor Doppler:  $\delta = [\Gamma(1 - \beta \cos \phi)]^{-1}$

	marco en reposo	observador
tiempo	$t$	$\delta^{-1} t$
frecuencia	$\nu$	$\delta \nu$
intensidad	$I_\nu(\nu)$	$\delta^3 I_\nu(\nu)$
dens. de flujo	$F_\nu(\nu)$	$\delta^{(3+\alpha)} F_\nu(\nu)$
flujo banda ancha	$F$	$\delta^4 F$

Plasma con velocidad de bulto  $\beta = \frac{v}{c} \lesssim 1$  y ángulo  $\phi \gtrsim 0^\circ$

→ **emisión “enfocada” en la dirección del observador**

factor de Lorentz:  $\Gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$

factor Doppler:  $\delta = [\Gamma(1 - \beta \cos \phi)]^{-1}$

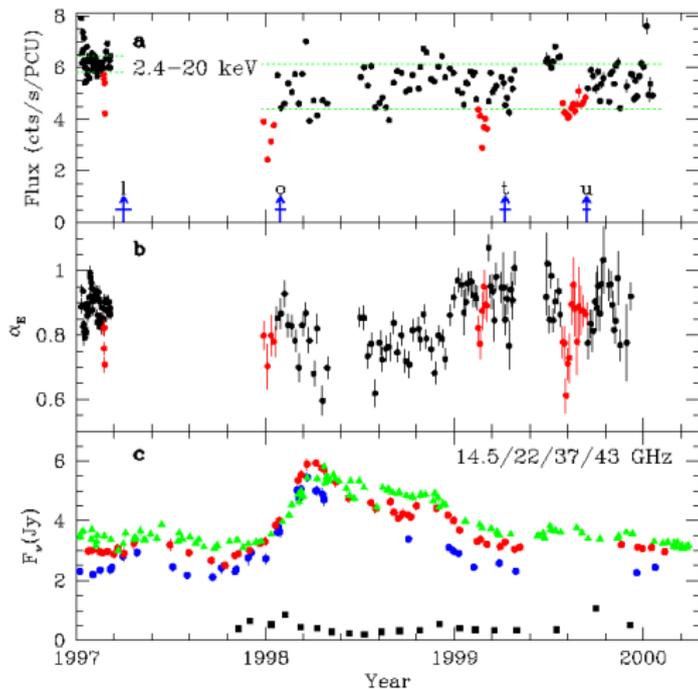
	marco en reposo	observador
tiempo	$t$	$\delta^{-1} t$
frecuencia	$\nu$	$\delta \nu$
intensidad	$I_\nu(\nu)$	$\delta^3 I_\nu(\nu)$
dens. de flujo	$F_\nu(\nu)$	$\delta^{(3+\alpha)} F_\nu(\nu)$
flujo banda ancha	$F$	$\delta^4 F$

Plasma con velocidad de bulto  $\beta = \frac{v}{c} = 0.99$  y ángulo  $\theta = 5^\circ$

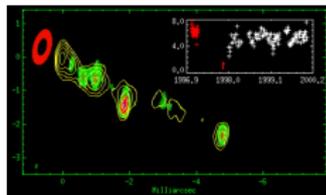
factor de Lorentz:  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} = 7.$

factor Doppler:  $\delta = [\gamma(1 - \beta \cos \theta)]^{-1} = 10.$

	marco en reposo	observador	ejemplo
tiempo	$t$	$\delta^{-1}t$	$0.1 t$
frecuencia	$\nu$	$\delta \nu$	$10 \nu$
intensidad	$I_\nu(\nu)$	$\delta^3 I_\nu(\nu)$	$10^3 I_\nu(\nu)$
dens. de flujo	$F_\nu(\nu)$	$\delta^{(3+\alpha)} F_\nu(\nu)$	$10^{(3+\alpha)} F_\nu(\nu)$
flujo banda ancha	$F$	$\delta^4 F$	$10^4 F$



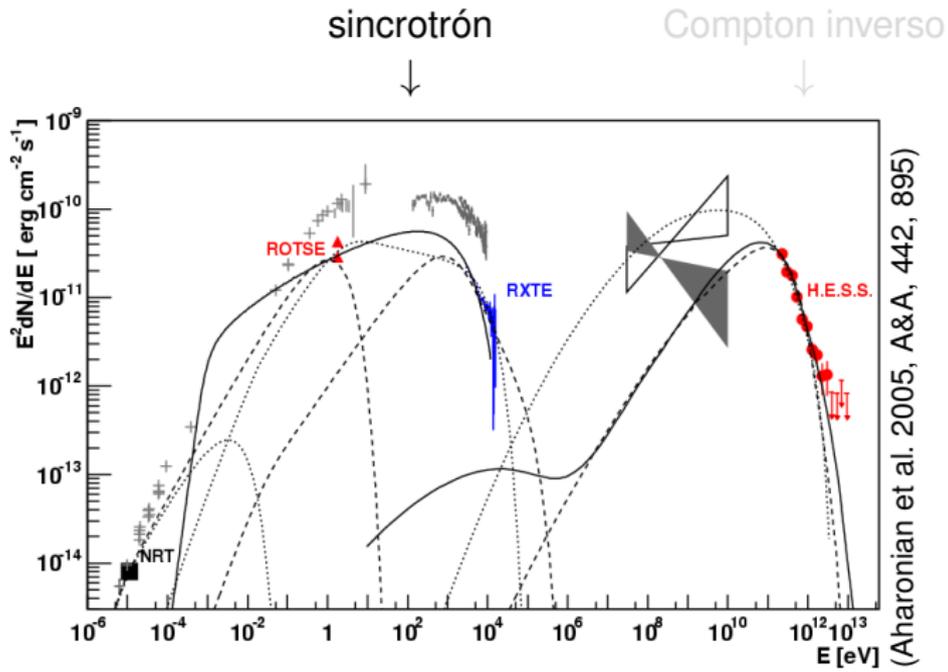
3C 120 (BLRG)

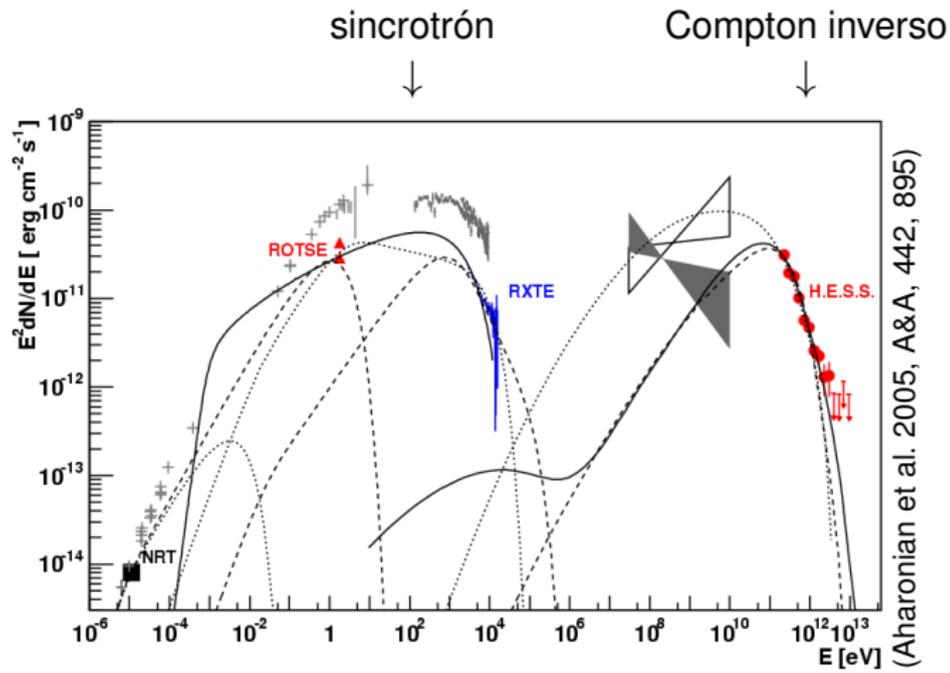


RXTE + VLBI  
(Marscher et al.  
2002)

## BL Lacs + FSRQs = blazares

- Emisión intensa desde radio a rayos- $\gamma$
- Flujo variable: gran amplitud,  $\Delta t \approx$  horas
- Polarización alta y variable
- Movimientos superlumínicos (radio jet)





**Objetos BL Lac** : menor  $\mathcal{L}$ , espectros ópticos con líneas débiles o indetectables.

**LSP** (*low-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED a bajas frecuencias

**HSP** (*high-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED en altas frecuencias

**Radio cuasares de espectro plano (FSRQ)** : mayor  $\mathcal{L}$ ,  
espectros ópticos con líneas intensas, SED similar  
a LSP.

También llamados **CDQ** (*core dominated quasars*)  
o bien **OVV** (*optically violent variables*).

Objetos BL Lac : menor  $\mathcal{L}$ , espectros ópticos con líneas débiles o indetectables.

LSP (*low-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED a bajas frecuencias

HSP (*high-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED en altas frecuencias

Radio cuasares de espectro plano (FSRQ) : mayor  $\mathcal{L}$ ,  
espectros ópticos con líneas intensas, SED similar  
a LSP.

También llamados CDQ (*core dominated quasars*)  
o bien OVV (*optically violent variables*).

Objetos BL Lac : menor  $\mathcal{L}$ , espectros ópticos con líneas débiles o indetectables.

**LSP** (*low-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED a bajas frecuencias

**HSP** (*high-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED en altas frecuencias

Radio cuasares de espectro plano (FSRQ) : mayor  $\mathcal{L}$ ,  
espectros ópticos con líneas intensas, SED similar  
a LSP.

También llamados **CDQ** (*core dominated quasars*)  
o bien **OVV** (*optically violent variables*).

Objetos BL Lac : menor  $\mathcal{L}$ , espectros ópticos con líneas débiles o indetectables.

LSP (*low-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED a bajas frecuencias

HSP (*high-frequency synchrotron peaked*):  
máximos SED en altas frecuencias

Radio cuasares de espectro plano (FSRQ) : mayor  $\mathcal{L}$ ,  
espectros ópticos con líneas intensas, SED similar a LSP.

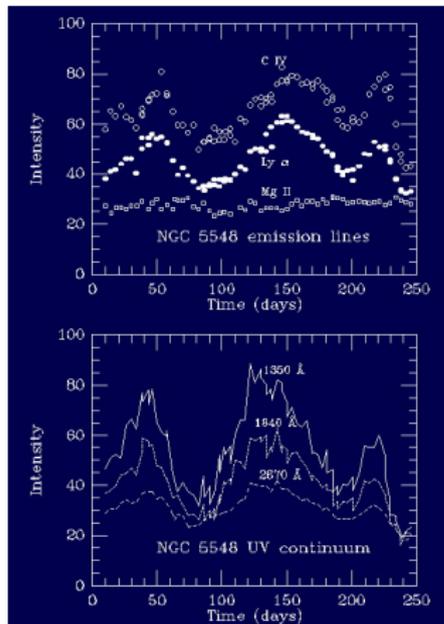
También llamados CDQ (*core dominated quasars*)  
o bien OVV (*optically violent variables*).

BL Lac	pico sincrotrón	pico Compton inverso	$\alpha_{R/X}$
LSP	sub-mm $\rightarrow$ IR	GeV	$> 5.76$
HSP	UV $\rightarrow$ X	TeV	$< 5.76$

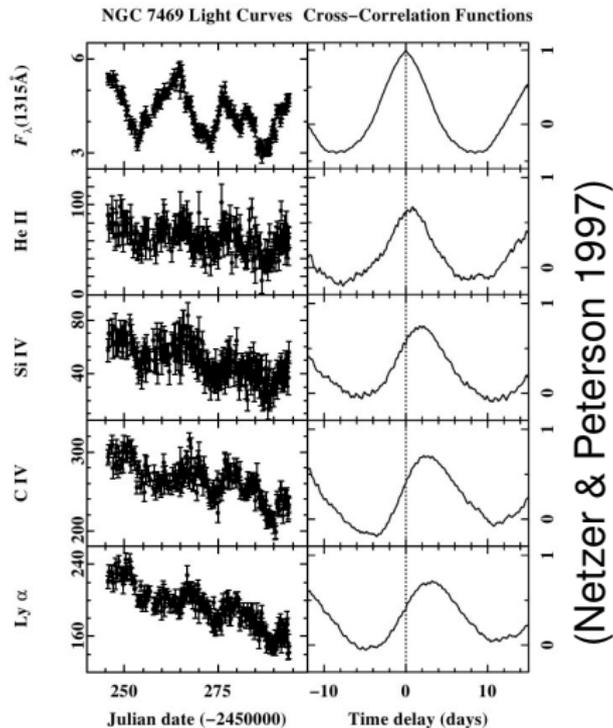
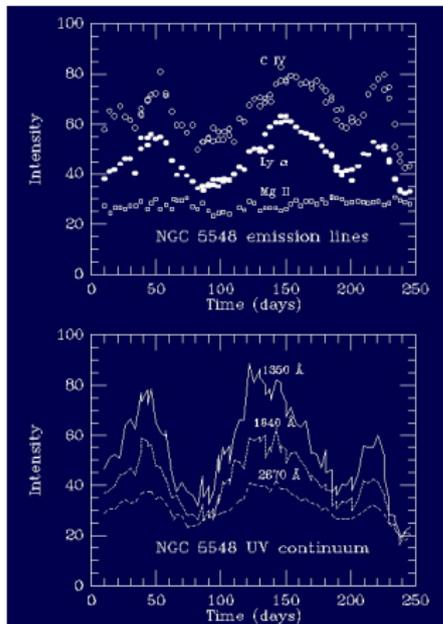
BL Lac } versiones orientadas, { FR I ( radio-gx baja- $\mathcal{L}$  )  
CDQ ó FSRQ } respectivamente, de { FR II ( radio-gx alta- $\mathcal{L}$  )

- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia**
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos

# Mapeo por reverberancia

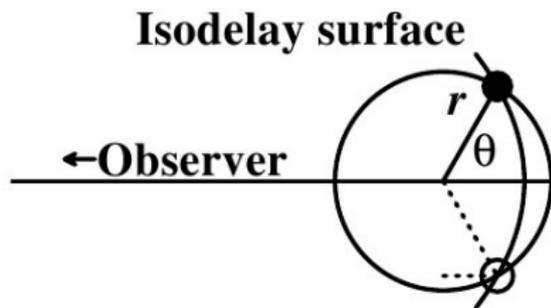


# Mapeo por reverberancia



Variabilidad: en líneas se observa retrasada

$\tau = \frac{r}{c} (1 + \cos \theta)$  respecto al flujo UV



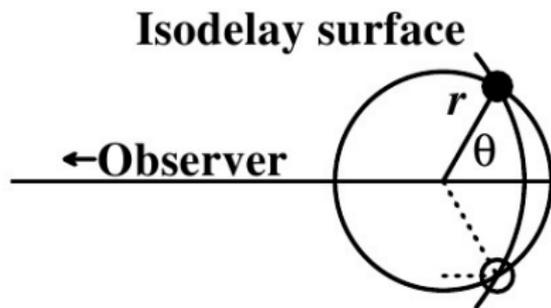
Distintas líneas responden con distinto retardo.

Líneas de alta ionización responden más rápido que líneas de baja ionización  $\rightarrow$  BLR tiene estructura de ionización estratificada radialmente.

$$R_{\text{BLR}} \propto L^{\frac{1}{2}} \rightarrow \text{Medida de } \mathcal{M}_{\text{BH}}$$

Variabilidad: en líneas se observa retrasada

$\tau = \frac{r}{c} (1 + \cos \theta)$  respecto al flujo UV



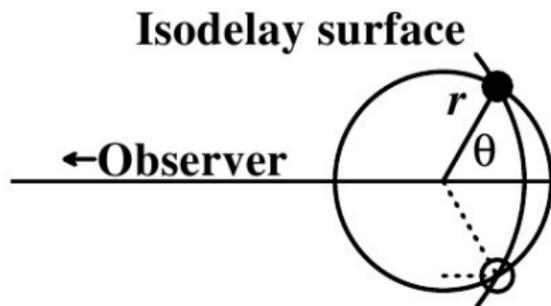
Distintas líneas responden con distinto retardo.

Líneas de alta ionización responden más rápido que líneas de baja ionización → BLR tiene estructura de ionización estratificada radialmente.

$$R_{\text{BLR}} \propto L^{\frac{1}{2}} \rightarrow \text{Medida de } \mathcal{M}_{\text{BH}}$$

Variabilidad: en líneas se observa retrasada

$\tau = \frac{r}{c} (1 + \cos \theta)$  respecto al flujo UV



Distintas líneas responden con distinto retardo.

Líneas de alta ionización responden más rápido que líneas de baja ionización → BLR tiene estructura de ionización estratificada radialmente.

$$R_{\text{BLR}} \propto L^{\frac{1}{2}} \rightarrow \text{Medida de } \mathcal{M}_{\text{BH}}$$

- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO**
- 7 Efectos cosmológicos

# Sistemas de líneas de absorción en QSO

Líneas más comunes:

- Ly $\alpha$  ( $\lambda$  1216 Å)
- CIV ( $\lambda\lambda$  1548, 1551 Å),
- MgII ( $\lambda\lambda$  2795, 2802 Å).

Tipos de líneas:

**No saturadas:** intensidad residual no despreciable en su centro ( $\tau_0 \ll 1$ )

**Saturadas:** intensidad transmitida  $\sim 0$  en el centro de la línea

**Fuertemente saturadas:** todo el núcleo Doppler de la línea está saturado (*damped Ly $\alpha$  system*).

# Sistemas de líneas de absorción en QSO

Líneas más comunes:

- Ly $\alpha$  ( $\lambda$  1216 Å)
- CIV ( $\lambda\lambda$  1548, 1551 Å),
- MgII ( $\lambda\lambda$  2795, 2802 Å).

Tipos de líneas:

**No saturadas:** intensidad residual no despreciable en su centro ( $\tau_0 \ll 1$ )

**Saturadas:** intensidad transmitida  $\sim 0$  en el centro de la línea

**Fuertemente saturadas:** todo el núcleo Doppler de la línea está saturado (*damped Ly $\alpha$  system*).

# Sistemas de líneas de absorción en QSO

Distintos tipos de sistemas de líneas:

**Sistemas de líneas metálicas:** metales ionizados y neutros, además de  $\text{Ly}\alpha$ . Nubes de gas en la visual, posiblemente asociadas a galaxias de disco. Permiten estudiar metalicidades.

“Selvas”  $\text{Ly}\alpha$ : gran número de absorciones  $\lambda < \text{Ly}\alpha$  del QSO. Se atribuyen a  $\text{Ly}\alpha$  en galaxias sobre la visual

Líneas de absorción anchas (BAL):  $\sim 10^4 \text{ km s}^{-1}$ , hacia el azul en líneas de resonancia de algunos QSO. Se originan en gas expelido del núcleo activo.

# Sistemas de líneas de absorción en QSO

Distintos tipos de sistemas de líneas:

**Sistemas de líneas metálicas:** metales ionizados y neutros, además de  $\text{Ly}\alpha$ . Nubes de gas en la visual, posiblemente asociadas a galaxias de disco. Permiten estudiar metalicidades.

**“Selvas”  $\text{Ly}\alpha$ :** gran número de absorciones  $\lambda < \text{Ly}\alpha$  del QSO. Se atribuyen a  $\text{Ly}\alpha$  en galaxias sobre la visual

**Líneas de absorción anchas (BAL):**  $\sim 10^4 \text{ km s}^{-1}$ , hacia el azul en líneas de resonancia de algunos QSO. Se originan en gas expelido del núcleo activo.

# Sistemas de líneas de absorción en QSO

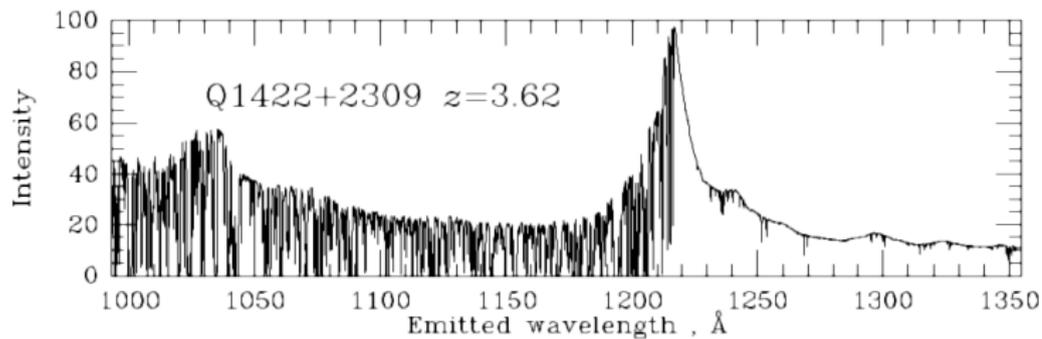
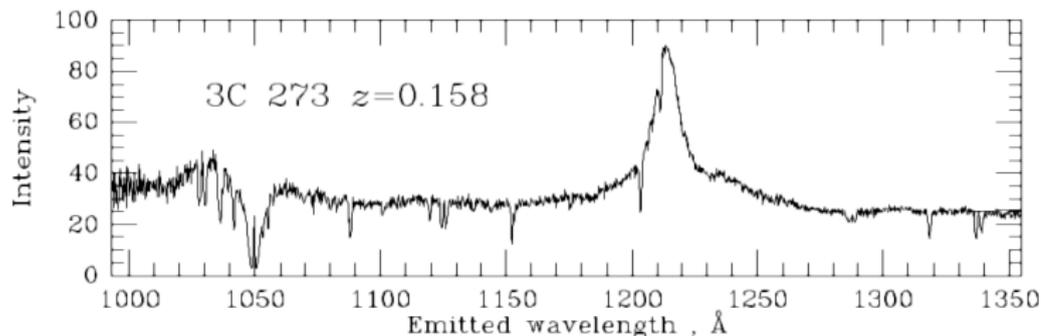
Distintos tipos de sistemas de líneas:

**Sistemas de líneas metálicas:** metales ionizados y neutros, además de  $\text{Ly}\alpha$ . Nubes de gas en la visual, posiblemente asociadas a galaxias de disco. Permiten estudiar metalicidades.

**“Selvas”  $\text{Ly}\alpha$ :** gran número de absorciones  $\lambda < \text{Ly}\alpha$  del QSO. Se atribuyen a  $\text{Ly}\alpha$  en galaxias sobre la visual

**Líneas de absorción anchas (BAL):**  $\sim 10^4 \text{ km s}^{-1}$ , hacia el azul en líneas de resonancia de algunos QSO. Se originan en gas expelido del núcleo activo.

# Sistemas de líneas de absorción en QSO



- 1 Introducción - Marco histórico
- 2 El concepto AGN
- 3 Fenomenología - El modelo estándar
- 4 La emisión del jet - Blazares
- 5 Mapeo por reverberancia
- 6 Sistemas de líneas de absorción en QSO
- 7 Efectos cosmológicos**

# Efectos cosmológicos

(unidades)	Marco de la fuente	Marco del observador
(Hz)	$\nu$	$\nu' = \nu (1 + z)^{-1}$
(Å)	$\lambda$	$\lambda' = \lambda (1 + z)$
(W m <sup>-2</sup> Hz <sup>-1</sup> )	$F_\nu(\nu)$	$F'_\nu(\nu') = F_\nu(\nu) (1 + z)^{-1}$
(W m <sup>-2</sup> Å <sup>-1</sup> )	$F_\lambda(\lambda)$	$F'_\lambda(\lambda') = F_\lambda(\lambda) (1 + z)^{-3}$
(W m <sup>-2</sup> )	$F$	$F' = F (1 + z)^{-2}$
(W m <sup>-2</sup> arcsec <sup>-2</sup> )	$\Sigma$	$\Sigma' = \Sigma (1 + z)^{-4}$
(W m <sup>-2</sup> Hz <sup>-1</sup> SR <sup>-1</sup> )	$I_\nu(\nu)$	$I'_\nu(\nu') = I_\nu(\nu) (1 + z)^{-3}$
(W m <sup>-2</sup> SR <sup>-1</sup> )	$I$	$I' = I (1 + z)^{-4}$
(Å)	$W(\lambda)$	$W'(\lambda') = W(\lambda) (1 + z)$

- *An Introduction to Active Galactic Nuclei*,  
Bradley M. Peterson (1997, Cambridge University Press)
- *Active galactic nuclei*,  
Andrew C. Fabian (Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 96, p. 4749)
- *A Brief History of Active Galactic Nuclei*,  
Gregory A. Shields (1999, PASP, 111, p. 661)