

# AGN - Active Galactic Nucleus

---

Livro texto, cap. 9

Mo, van den Bosch & White "Galaxy Formation and Evolution", cap. 14

H. Netzer, 2015, Annu. Rev. Astron. Astrophys. 53:365–408

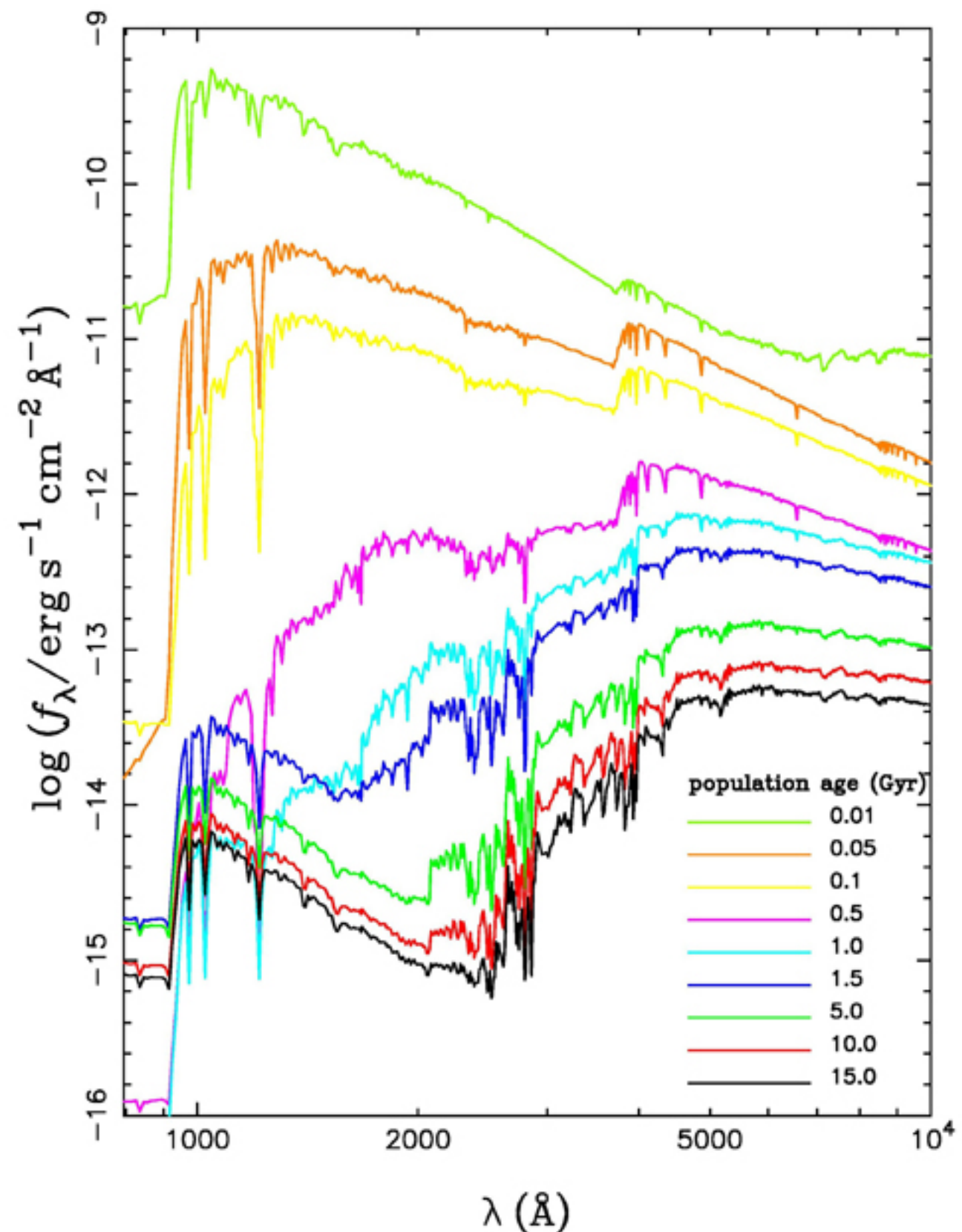
**Versão enxuta**

# SED de galáxias normais

- Galáxias “normais”: galáxias onde a emissão é dominada por estrelas => predominantemente radiação térmica, somatória dos corpos negros de temperatura entre  $\sim 3000$  e  $40.000\text{K}$
- A maior parte da emissão está confinada entre  $4000\text{\AA}$  e  $20\mu\text{m}$ .
- Emissão estende para o UV e IV se há starburst e poeira

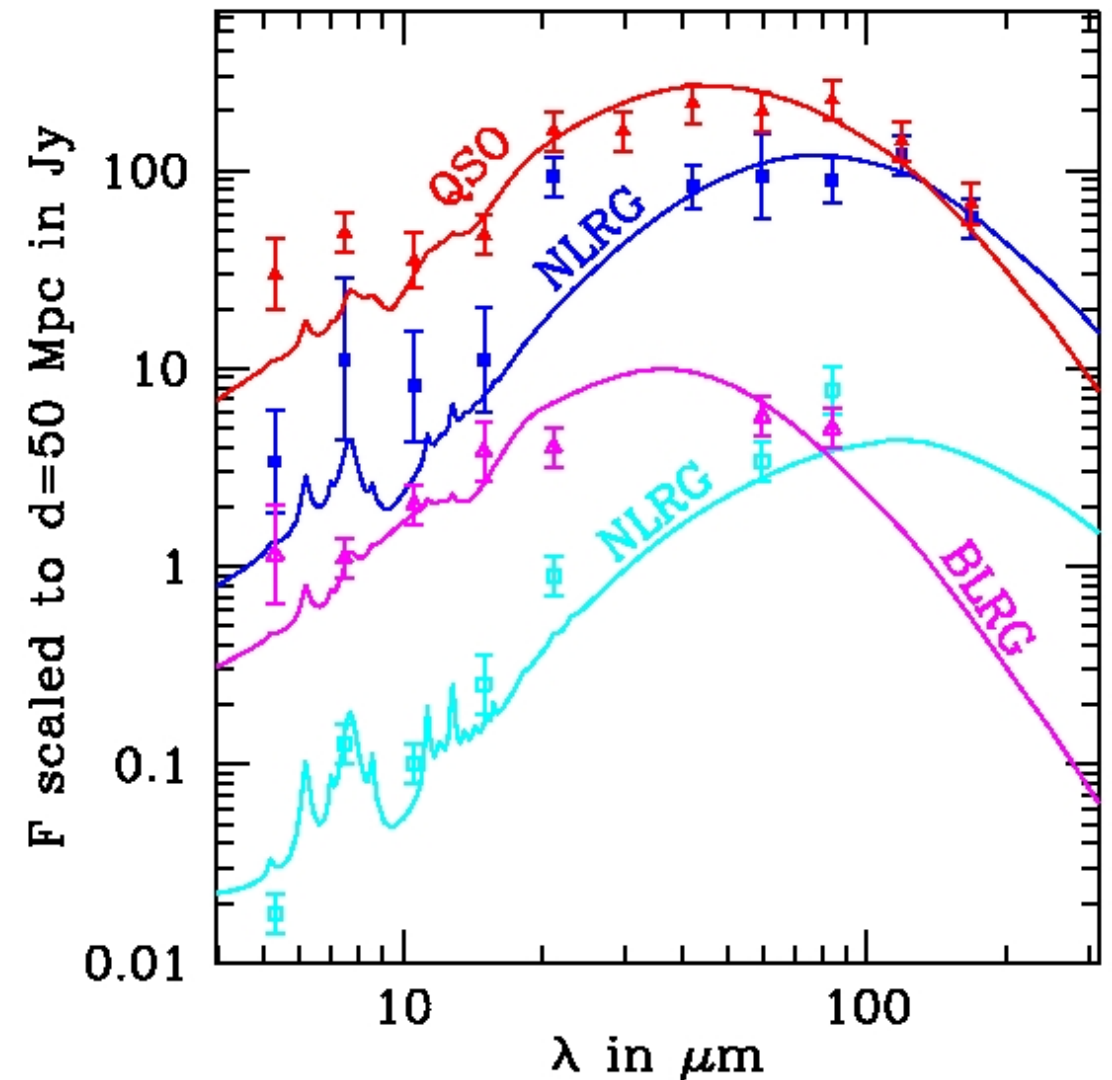
The evolution of spectral energy distribution (SED) of elliptical galaxies. The far-UV part is dominated by hot subdwarf stars from binary interactions when the age is larger than 1 Gyr (Han et al., 2007, MNRAS, 380, 1098).

<http://www1.yao.ac.cn/~zhanwenhan/bps.html>



# SED de AGNs

- Uma pequena fração das galáxias tem um SED (spectral energy distribution) que é muito mais larga, **cobrando de raio X ao rádio**.
- E a parte óptica e UV revela numerosas linhas de emissão intensas.
- Algumas das linhas largas indicam **velocidades de  $\sim 10.000 \text{ km/s}$**
- Muitas AGNs são variáveis, mudando sua luminosidade substancialmente em poucos meses, dias ou até horas



# AGNs

---

- A luminosidade não-termal está confinada a **uma região extremamente pequena** da galáxia (não maior do que o Sistema Solar), mas pode ser até  $10^4$ x mais luminosa do que o restante da galáxia
- As linhas de emissão largas em galáxias foram inicialmente reportadas em 1907, mas o primeiro estudo sistemático foi de **Seyfert (1943)**.
- Na **década de 50**, a radio astronomia floresceu, e muitas das mais fortes fontes de rádio descobertas estavam associadas a galáxias elípticas.
- Os primeiros **quasares** foram descobertos na **década 60** ('quasi-stellar radio source'), como 'rádio galáxias sem galáxias'. Quasares *radio-quiet* (quasi-stellar objects, **QSOs**) foram encontrados depois procurando por objetos "estelares" que emitiam muito mais em UV e IV do que o esperado pela emissão no óptico (~30x mais comuns do que quasares).

# Características observacionais em comum

---

- (I) uma região nuclear compacta muito mais brilhante do que uma região de mesmo tamanho em uma galáxia normal;
- (II) emissão de radiação não-termal: emissão rádio de origem síncroton, emissão em raios-X de origem Compton-inverso;
- (III) fortes linhas de emissão, tanto de transições permitidas quanto proibidas;
- (IV) variabilidade na emissão de contínuo e/ou linhas em escalas de tempo relativamente pequenas.

Table 14.1. Local number densities.

| Type of object     | Number density [ $\text{Mpc}^{-3}$ ] |
|--------------------|--------------------------------------|
| Field galaxies     | $10^{-1}$                            |
| Luminous spirals   | $10^{-2}$                            |
| Seyfert galaxies   | $10^{-4}$                            |
| Radio galaxies     | $10^{-6}$                            |
| QSOs               | $10^{-7}$                            |
| Radio-loud quasars | $10^{-9}$                            |

# Famílias de AGNs

Radio-quiet

LINER

Seyfert 2

Seyfert 1

QSOs

Rádio Galáxias

Quasares

OVVs (optically violent  
variable quasar)

BL Lac

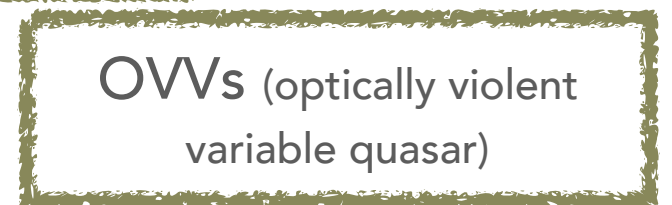
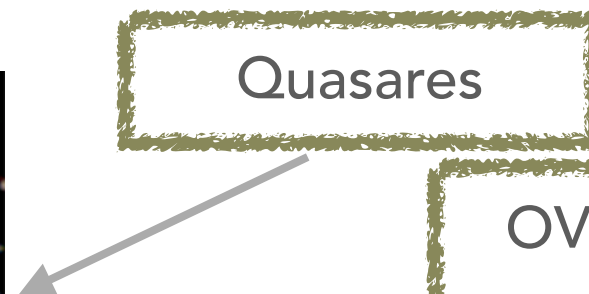
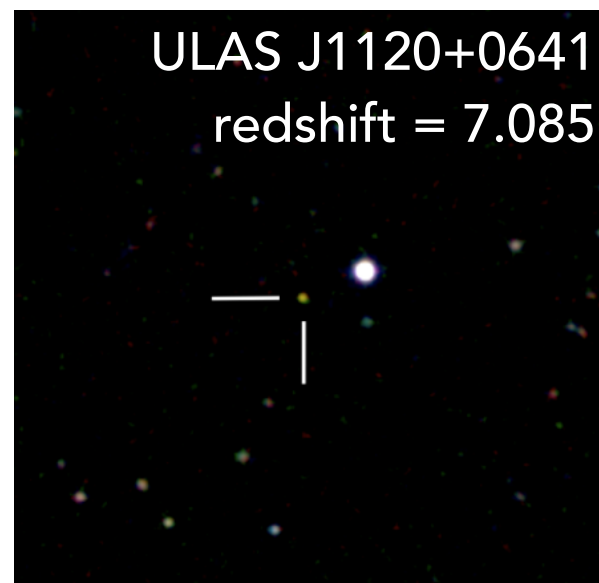
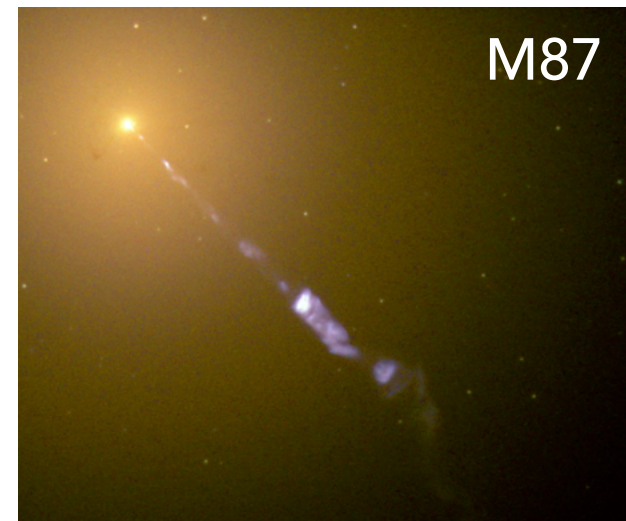
Radio-loud

M104

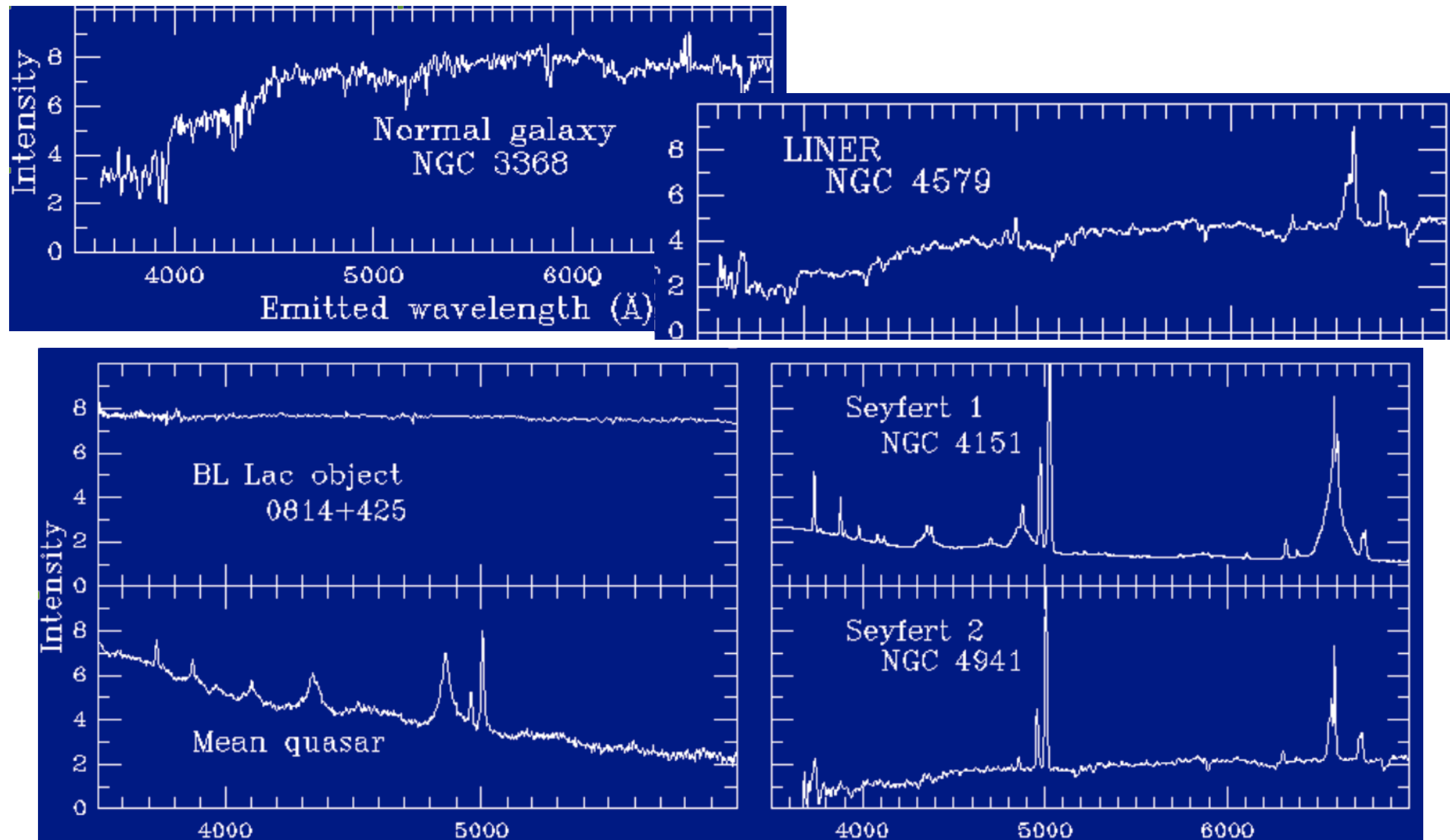
M87

ESO 97-G13

ULAS J1120+0641  
redshift = 7.085



# Diferenças no espectro visível



“The host galaxies of most AGNs are SF galaxies (Rosario et al. 2012, 2013).”

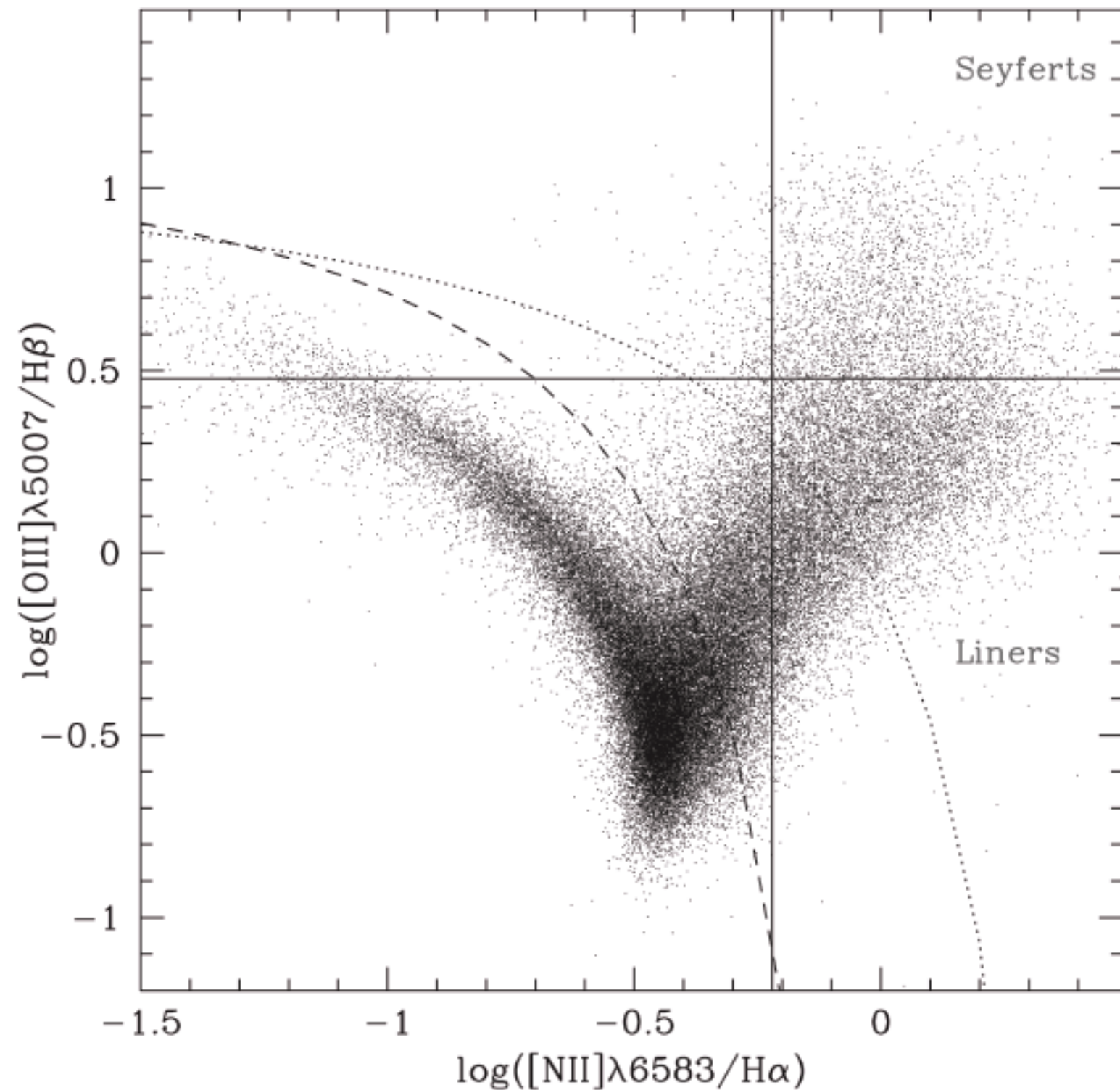
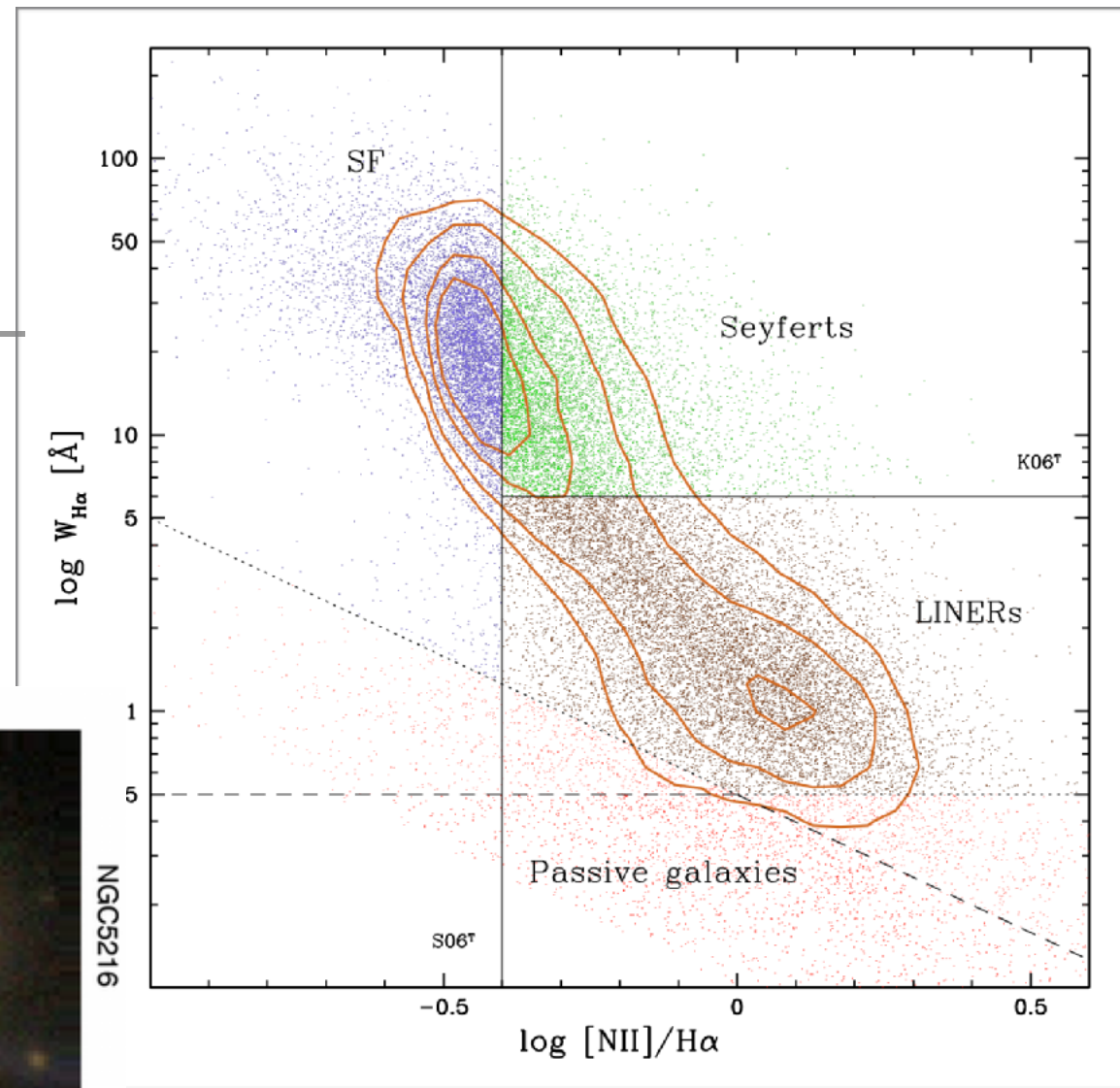
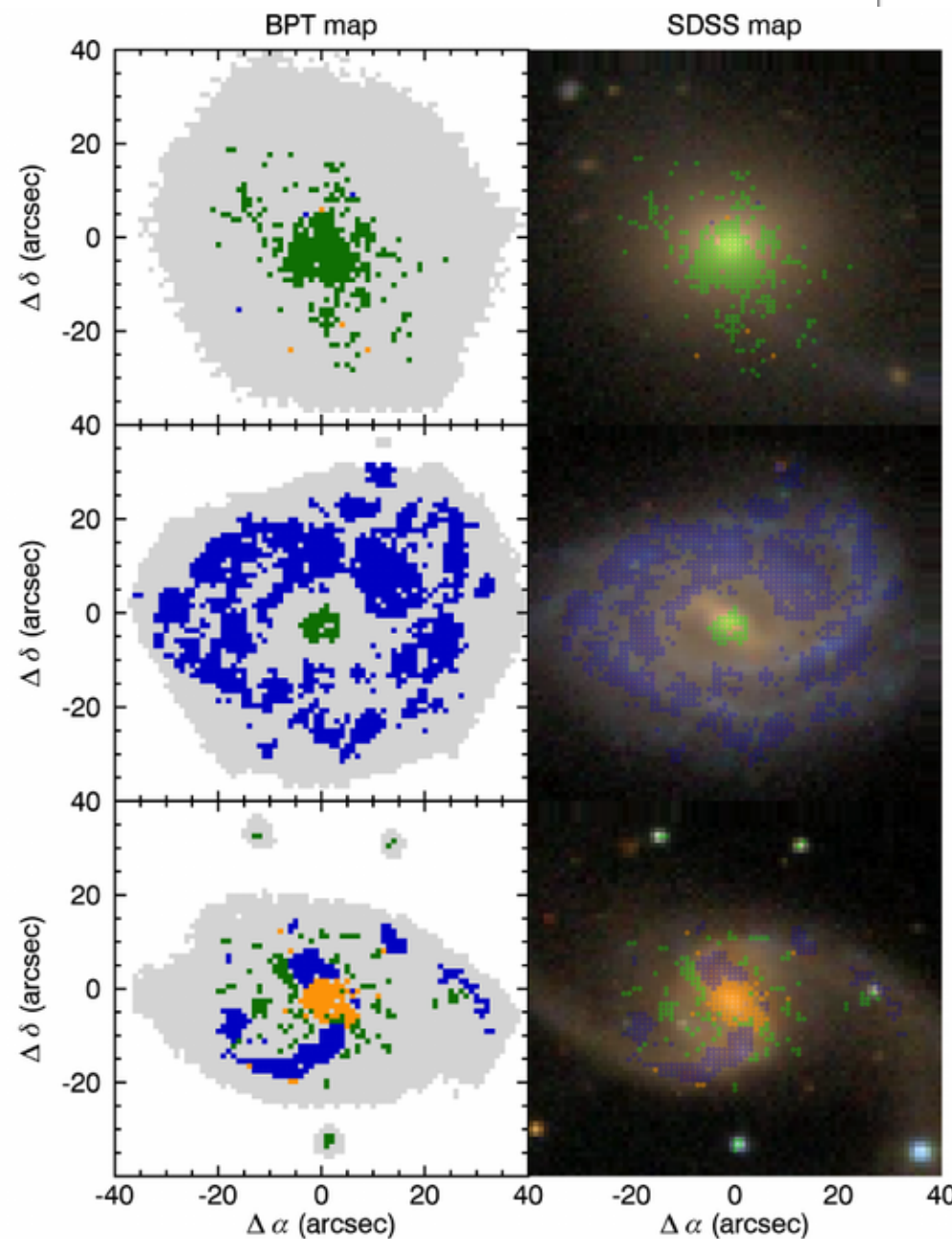
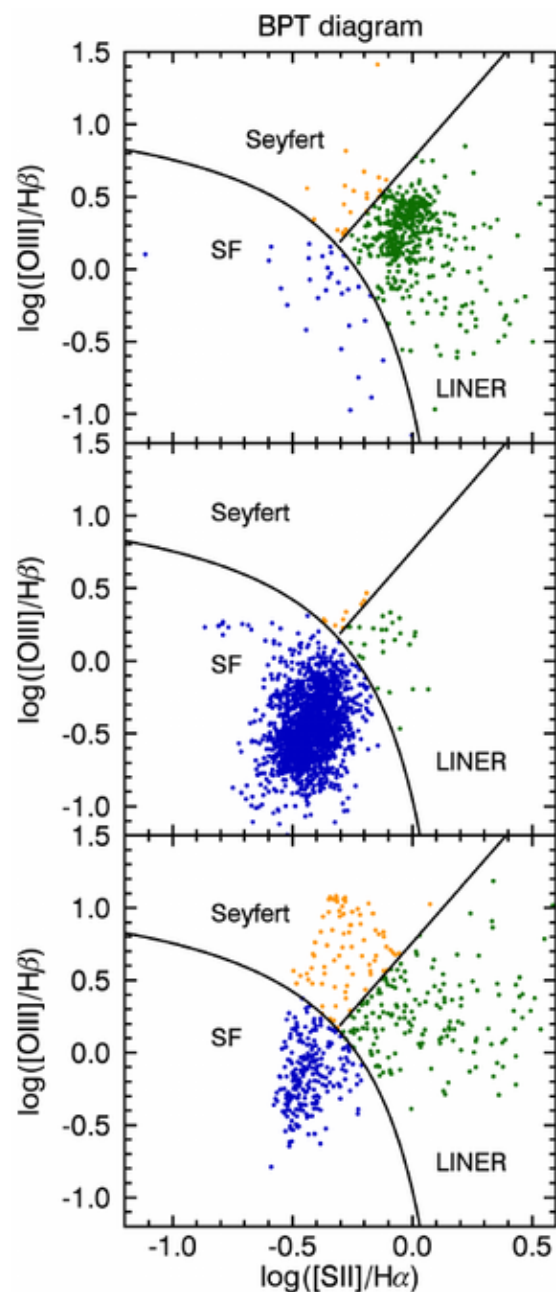


Fig. 14.6. The emission-line flux ratio  $[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta$  versus the ratio  $[\text{NII}]\lambda 6583/\text{H}\alpha$  for a galaxy sample constructed from the SDSS. A diagram of emission-line ratios like this is often called a BPT diagram, after Baldwin et al. (1981) who demonstrated its usefulness for separating AGN from normal star-forming galaxies. The dashed curve represents the demarcation line of pure star formation defined by Kauffmann et al. (2003a) and the dotted line is the extreme starburst demarcation line of Kewley et al. (2001). Seyfert galaxies are often defined to have  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta > 3$  and  $[\text{NII}]/\text{H}\alpha > 0.6$ , and LINERs to have  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta < 3$  and  $[\text{NII}]/\text{H}\alpha > 0.6$ . [Adapted from Kauffmann et al. (2003a)]

# As LINERs são AGN mesmo?

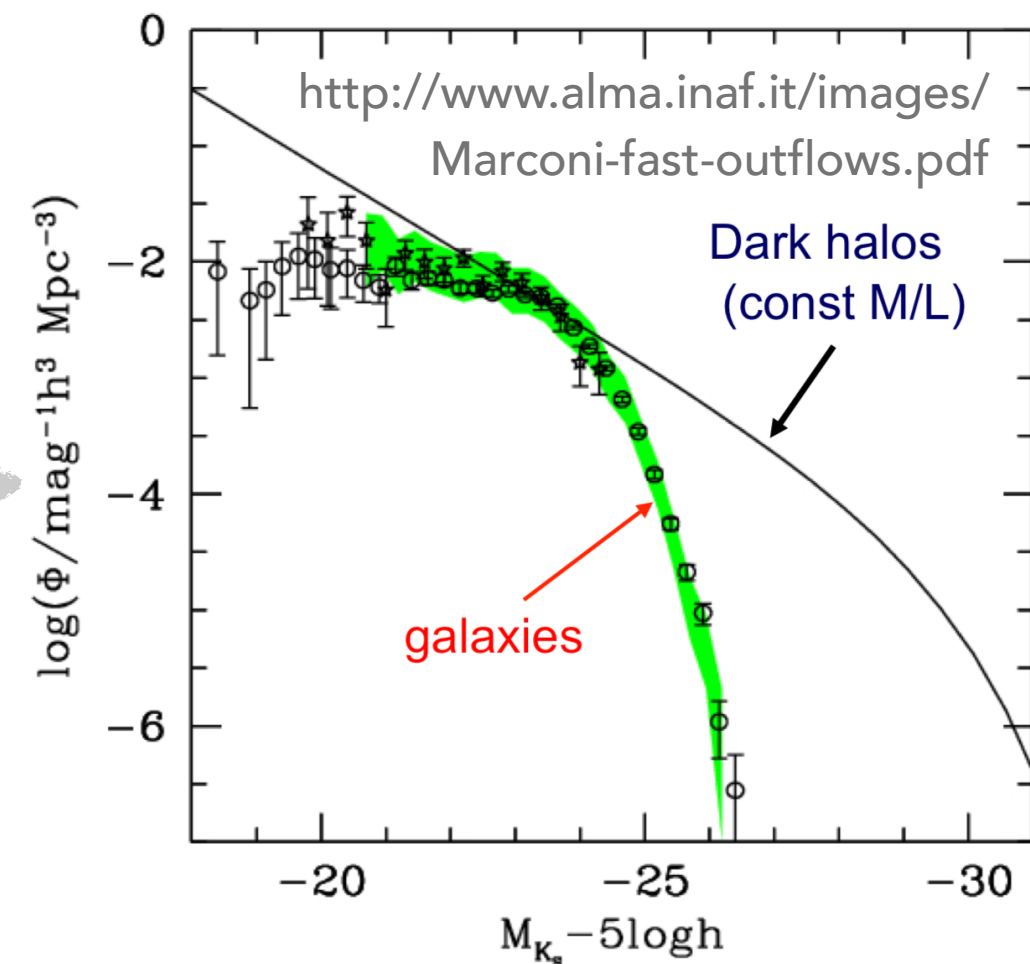
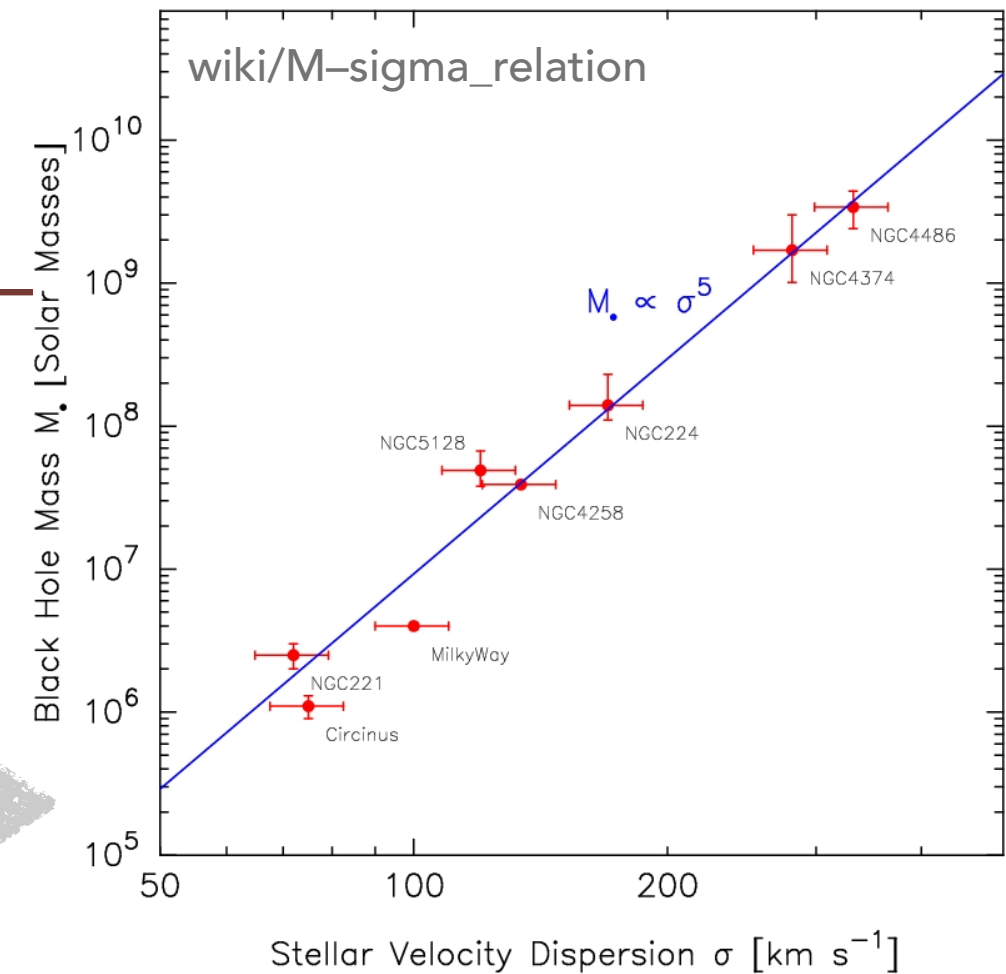
Singh et al. (2013)



The WHAN diagram from Cid Fernandes et al. 2011: "[There] are galaxies hosting a weakly active galactic nucleus (wAGN) and 'retired galaxies' (RGs), i.e. galaxies that have stopped forming stars and are ionized by their hot low-mass evolved stars."

# AGNs e Evolução de Galáxias

- Entender as propriedades de galáxias ativas é um aspecto importante da formação e evolução de galáxias
  - acredita-se que a energia de AGNs venha de matéria sendo acretaada em buracos negros super massivos (SMBH); a correlação observada entre massas de SMBHs e a massa das galáxias hospedeiras é uma forte indicação que a formação de SMBHs está fortemente conectado a formação de galáxias.
  - o fato de que virtualmente todos os esferóides hospedam um SMBH sugere que muitas, se não todas, galáxias normais podem ter passado por uma fase de núcleo ativo no passado
  - AGNs são potentes fontes de energia, e seu feedback pode ter um importante impacto no meio intergaláctico e na formação e evolução de galáxias. Esses efeitos tem que ser levados em conta em qualquer teoria de formação e evolução de galáxias.



# Mergers, Starbursts e AGNs

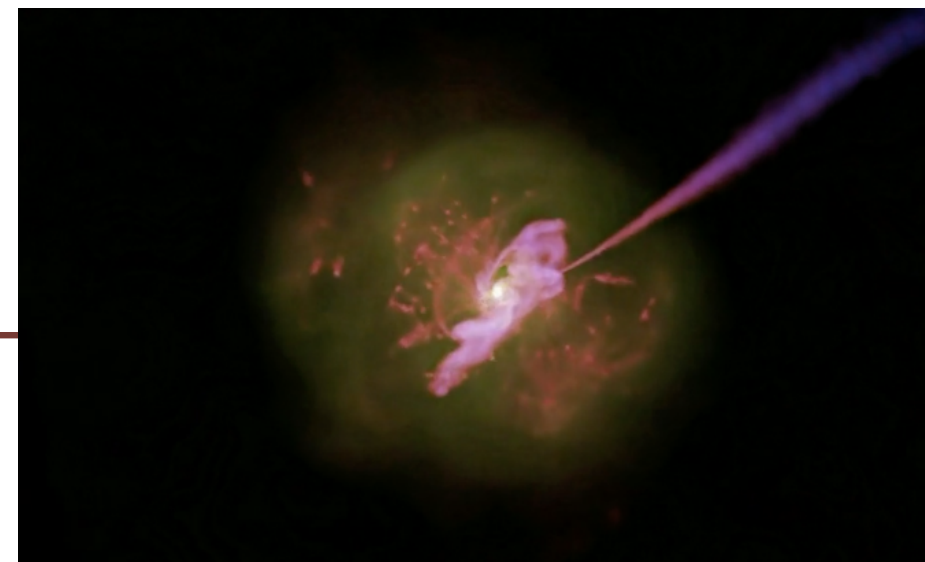
---

- Importante aspecto de wet mergers é que eles podem disparar nuclear starbursts e atividade AGN
- simulações numéricas mostram que os discos ricos em gás em um encontro se tornam altamente instáveis e desenvolvem **barras**.
- gás e estrelas não tem a mesma resposta às forças de maré e as barras gasosas ou estelares geralmente estão em fases diferentes
- a diferença de fase dá origem a torques que removem momento angular do gás
- como resultado, o gás migra para o centro do sistema onde forma uma alta concentração de gás na galáxia remanescente ao merger

# Mergers, Starbursts e AGNs

---

- a densidade superficial do gás pode ser várias ordens de magnitude superior a uma densidade de gás típica de galáxias disco não perturbadas => pode levar a altas taxas de formação estelar => nuclear starburst
- se apenas uma pequena parte do gás continuar a perder momento angular, irá cair no buraco negro central => AGN
- questões em aberto:
  - qual fração das estrelas formadas hoje foram induzidas por mergers? (Somerville et al., 2001)
  - qual o papel do feedback em regular e terminar o starburst e atividade AGN? (Springel et al., 2005).

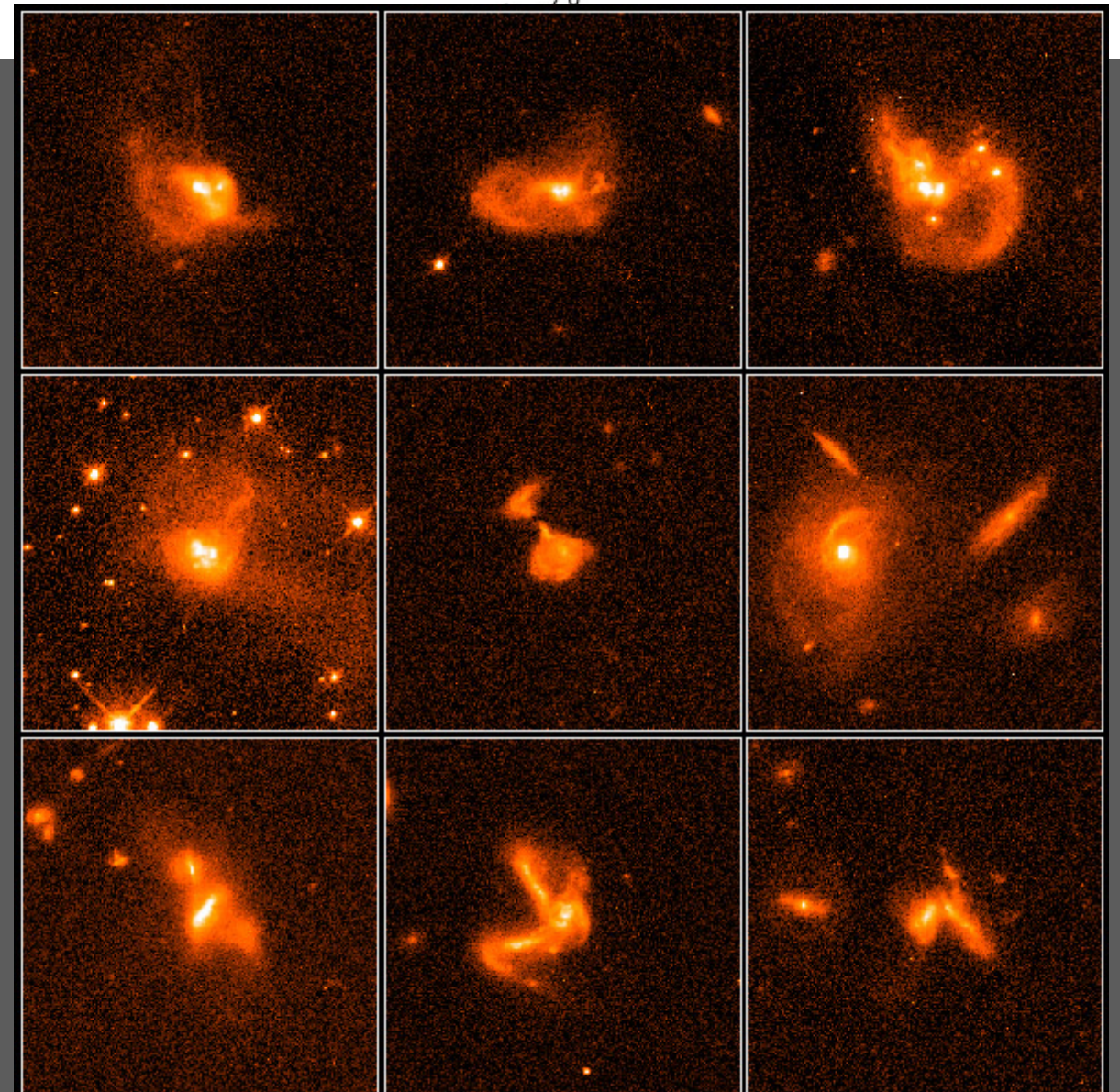
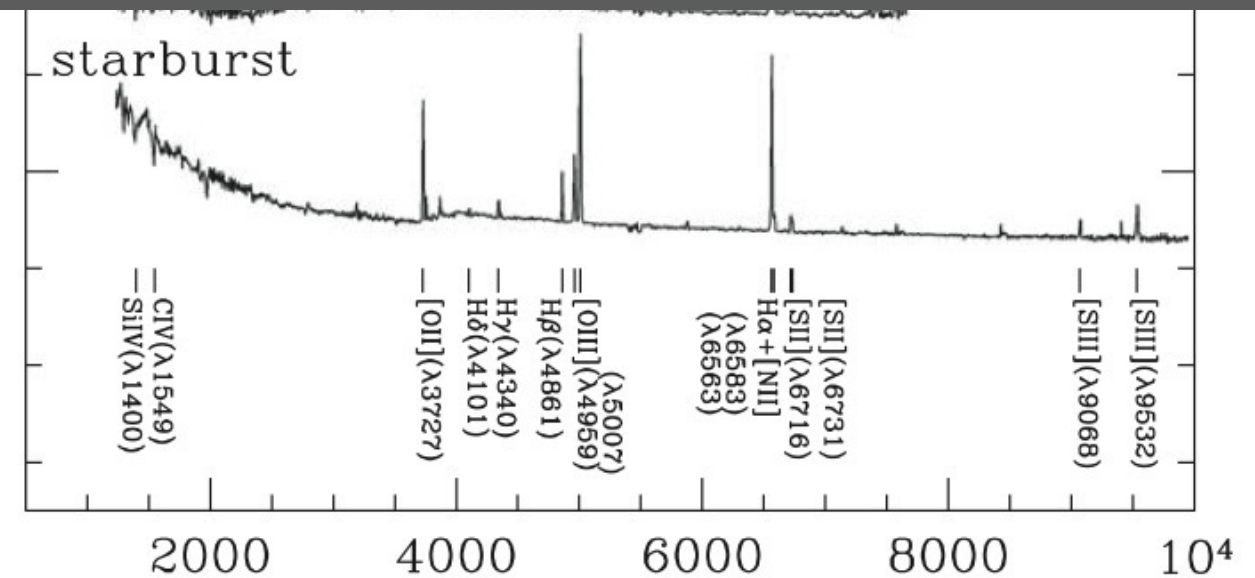


<http://hubblesite.org/image/3898>

Starburst galaxy M82. The observation was made in March 2006, with the Advanced Camera for Surveys' Wide Field Channel. Astronomers assembled this six-image composite mosaic by combining exposures taken with four colored filters that capture starlight from visible and infrared wavelengths as well as the light from the glowing hydrogen filaments.

# Nuclear starburst and Luminous IR Galaxies

- Sistemas com taxas de formação estelar 10 a 100x mais alta do que a da Galáxia => escalas de formação de  $\sim 10^8$  anos
- a região de formação é geralmente confinada aos 1kpc centrais
- quando não estão fortemente obscurecidos por poeira, a maior parte da emissão é no UV
- na maior parte dos casos os fótons UV são absorvidos e reemitidos no IV distante => LIRGs e ULIRGs ( $L_{IV}$  maior que  $10^{11}$  ou  $10^{12} L_{\text{sun}}$ )

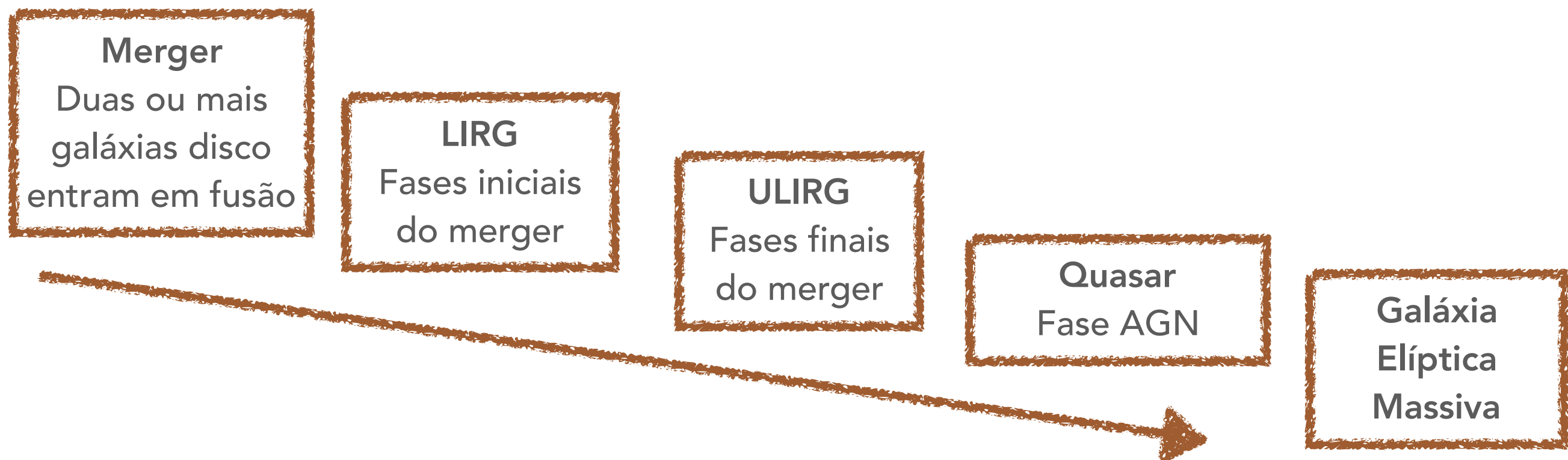


**Ultraluminous Infrared Galaxies** HST • WFPC2  
 NASA and K. Borne (Raytheon ITSS and NASA Goddard Space Flight Center), H. Bushouse (STScI), L. Colina (Instituto de Física de Cantabria, Spain) and R. Lucas (STScI)

# Outras galáxias luminosas entram em cena

---

- LIRG (Luminous Infrared Galaxy), ULIRG (Ultraluminous ... ), HLIRG (Hyper-Luminous...), ELIRG (Extremely Luminous...)
- Energia parece vir principalmente de intensos starbursts, mas também é encontrada atividade AGN
- Luminosidade bolométrica comparável a de quasares (!)
- Estágios evolutivos do cenário de formação de quasares e elípticas por merger



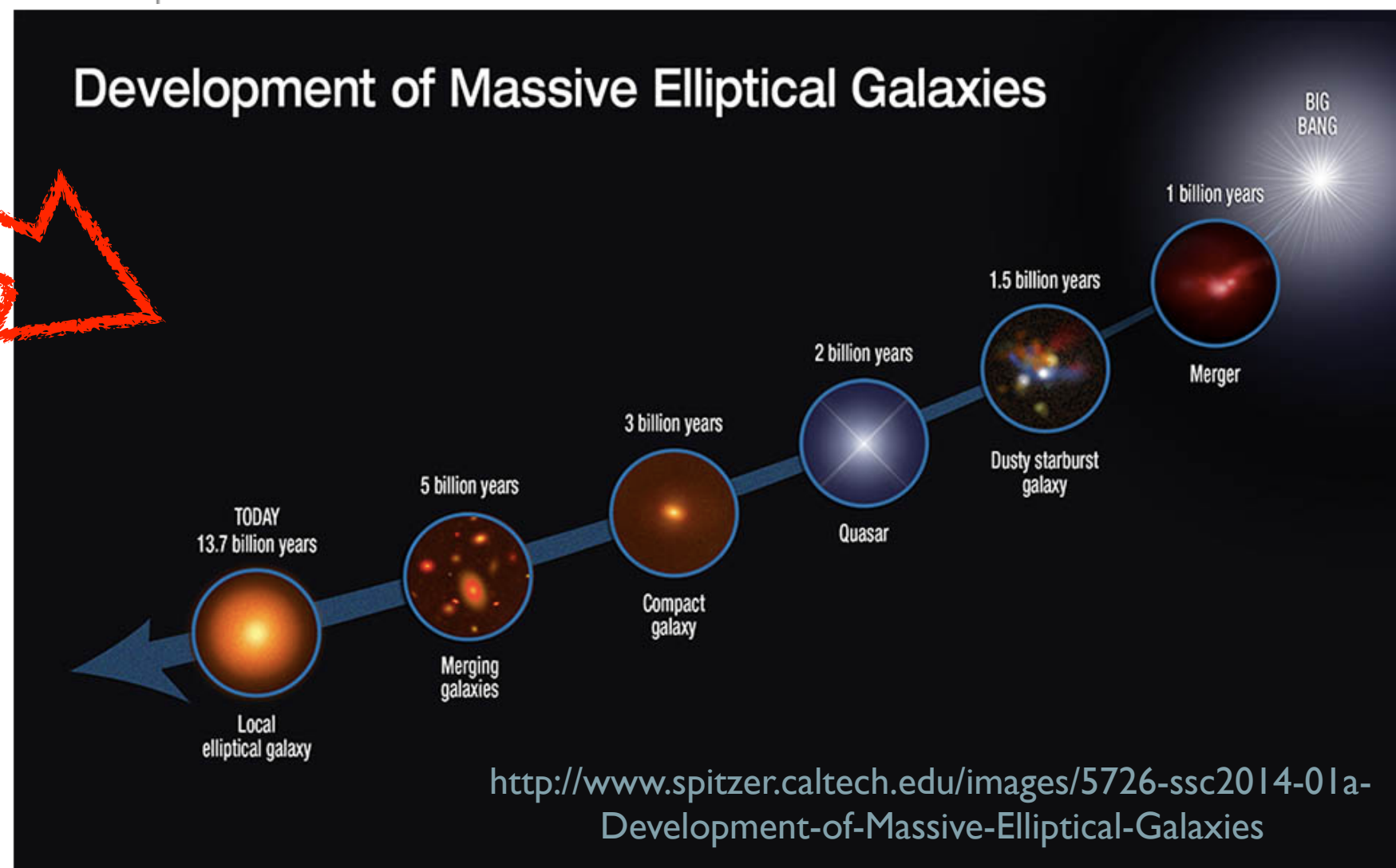
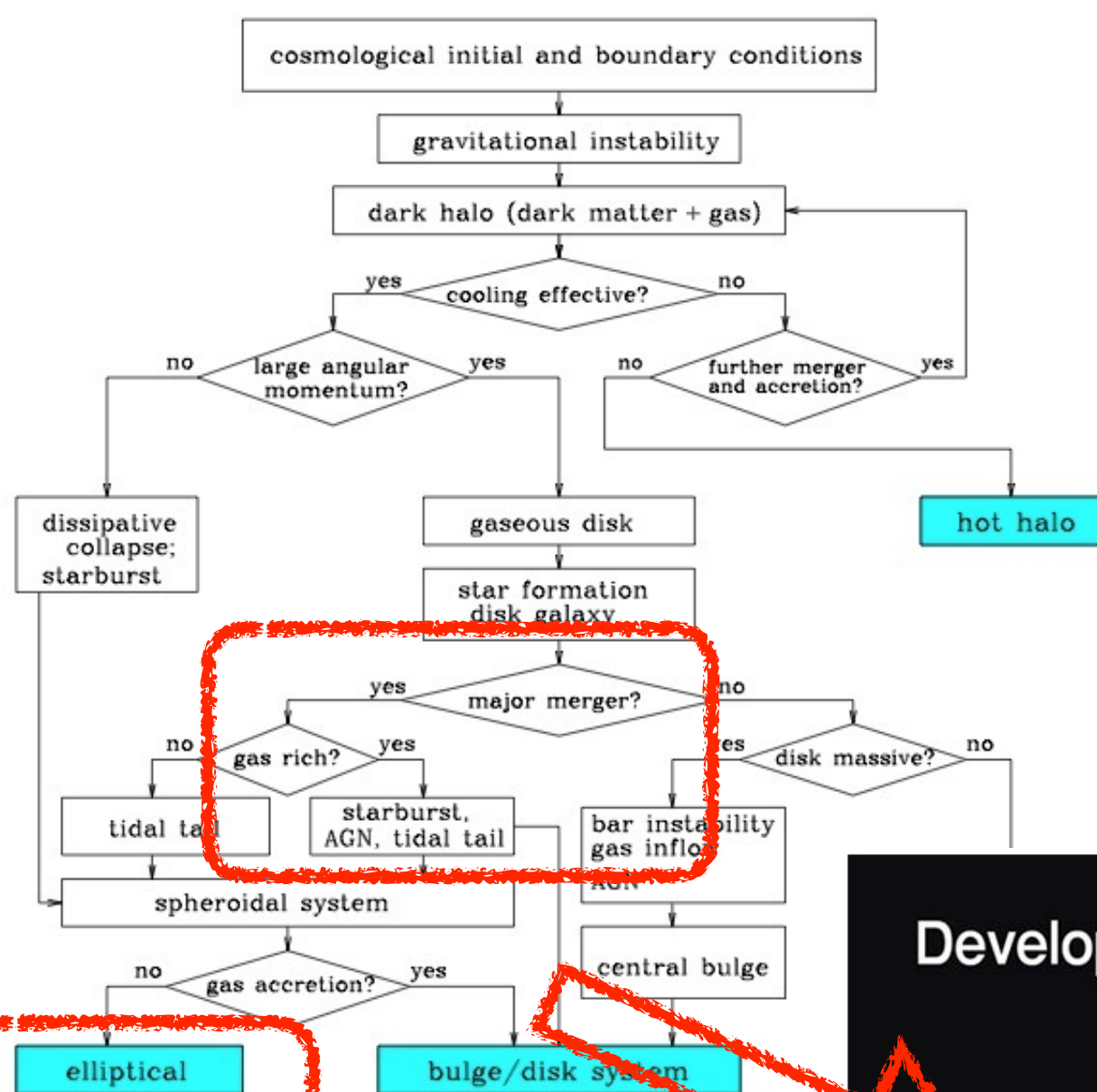


Fig. 1.1 em Mo et al.

# Como podemos entender a variedade de AGNs?

---

- São todas as AGNs as mesmas estruturas, mas observadas de modos diferentes?
- Ou cada AGN é um fenômeno distinto?

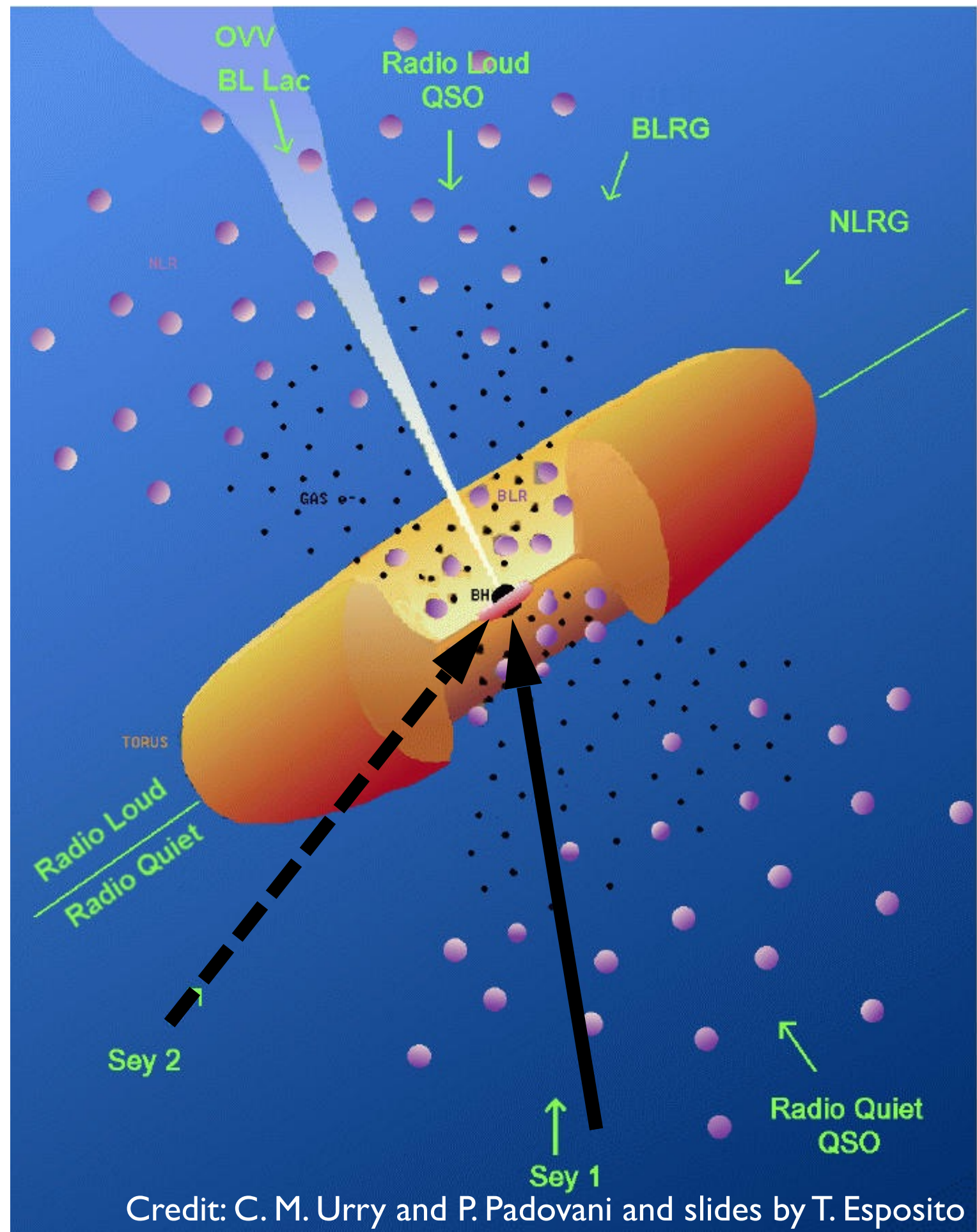
## 1. THE AGN FAMILY: CLASSIFICATION AND UNIFICATION

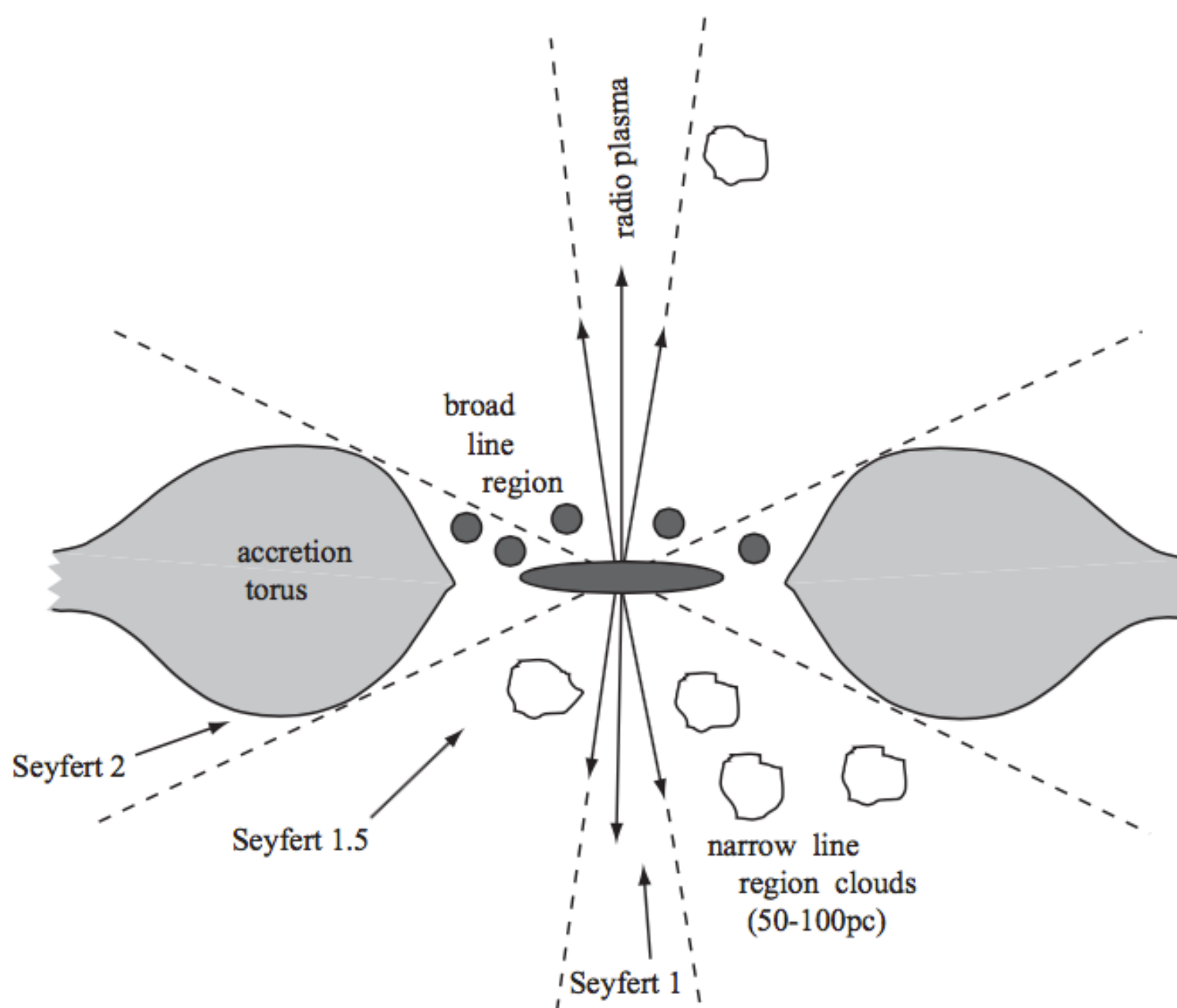
### 1.1. AGN Classification

An active galactic nucleus (AGN) is defined here as a galaxy containing a massive ( $> 10^5 M_{\odot}$ ) accreting black hole (BH) with an Eddington ratio exceeding the (somewhat arbitrary) limit of  $L_{\text{AGN}}/L_{\text{Edd}} = 10^{-5}$ , where  $L_{\text{AGN}}$  is the bolometric luminosity and  $L_{\text{Edd}} = 1.5 \times 10^{38} M_{\text{BH}}/M_{\odot} \text{ erg s}^{-1}$  is the Eddington luminosity for a solar composition gas. This definition excludes the Milky Way Galaxy but includes a large number of low-ionization nuclear emission-line regions (LINERs) and low-ionization radio galaxies. Most AGNs include several of the following components.

No modelo unificado de AGNs, é a linha de visada seria então o fator que determina de uma AGN é tipo 1 ou 2.

Cuidado com o desenho!  
Não existe jato sozinho.  
Se um jato se formar  
sempre haverá um contra-  
jato (que nem sempre é  
visto)





**Fig. 9.3.** A simple model for an active nucleus. Energetic twin jets emerge at near-light speeds along the spin axis of the central accretion disk. Radiation from the disk and jet photoionizes the dense fast-moving clouds of the broad-line region, which is often  $\lesssim 1$  pc across. The more diffuse and slower-moving gas of the narrow-line region is at larger radii. Observers looking directly down the jet would see a brilliant Seyfert 1 nucleus; but when it is viewed sideways, through the opaque accretion torus (gray), we have a Seyfert 2 galaxy.

## SUMMARY: PRESENT AND FUTURE UNIFICATION

The unification scheme presented in this review is different from and similar to the scheme presented in the late 1980s, which had three fundamental pillars: orientation, covering factor, and luminosity. The field is driven by courageous attempts to construct simple models for complex situations, and attempts to understand several selection effects typical of large samples. The most important developments of the last decade or so are summarized as follows.

- “Most AGN tori are probably axi-symmetric and clumpy...”
- “...merging systems likely behave in a way different from that of AGNs in secularly evolving hosts...”

Returning to the central theme of unification, it is clear that the old scheme requires several major revisions. More important revisions include the recognition that there is a large range of covering factors for a given luminosity, the realization that X-ray absorption can be caused by two or possibly more components, and the identification of several subgroups of AGNs that do not belong in this scheme in the first place. A revised scheme would require better methods to isolate and remove cases in which obscuration has nothing to do with the nucleus, and improved X-ray techniques to clarify the importance of X-ray absorption by dust-free gas. Perhaps the most crucial aspect, which is observationally challenging, is the separation of torus absorption from the presence of broad emission lines. Putting the absorption of the nonstellar continuum in the center of the scheme and minimizing the use of broad emission lines as a major characteristics are good ways to proceed.

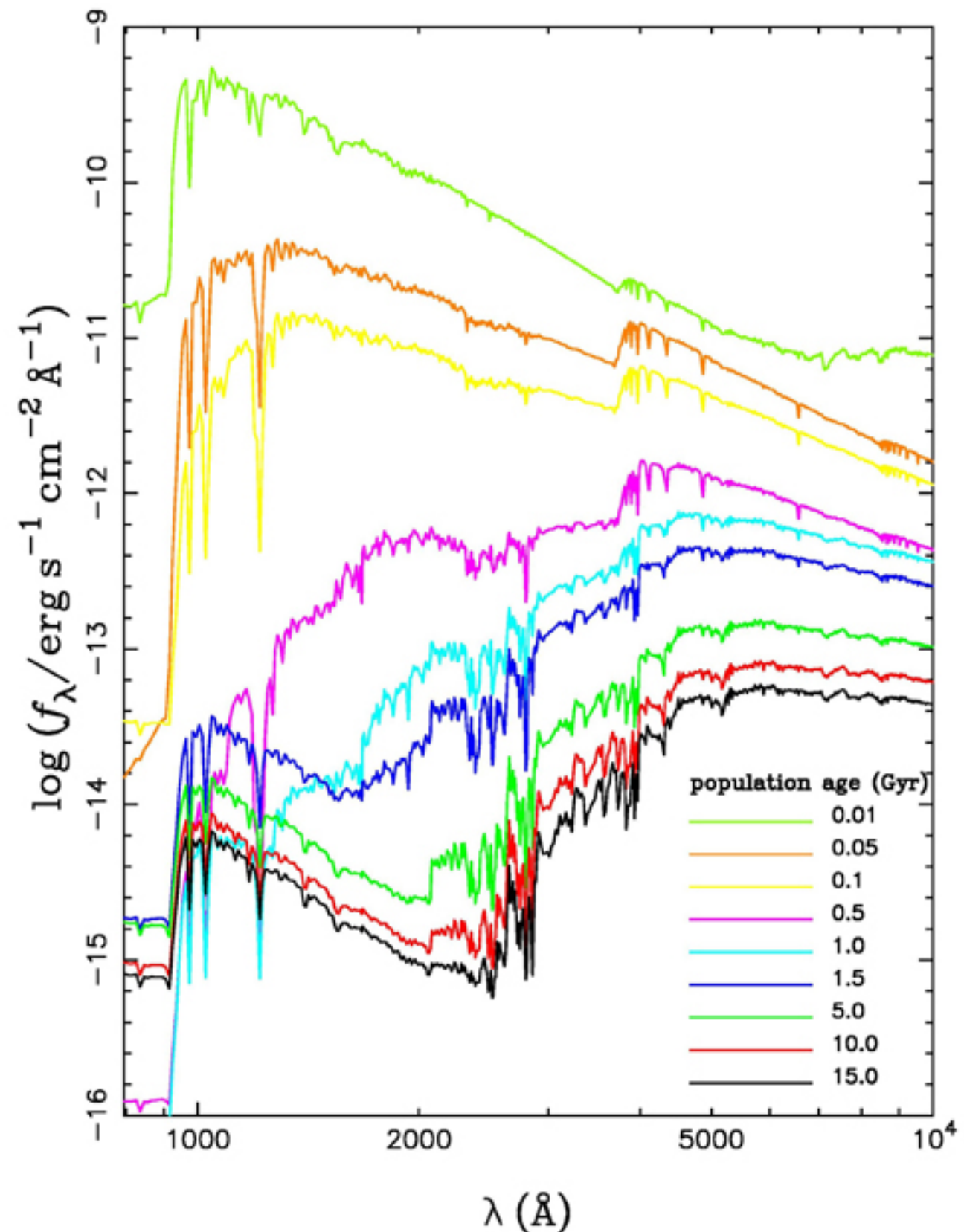
**Versão completa**

# SED de galáxias normais

- Galáxias “normais”: galáxias onde a emissão é dominada por estrelas => predominantemente radiação térmica, somatória dos corpos negros de temperatura entre  $\sim 3000$  e  $40.000\text{K}$
- A maior parte da emissão está confinada entre  $4000\text{\AA}$  e  $20\mu\text{m}$ .
- Emissão estende para o UV e IV se há starburst e poeira

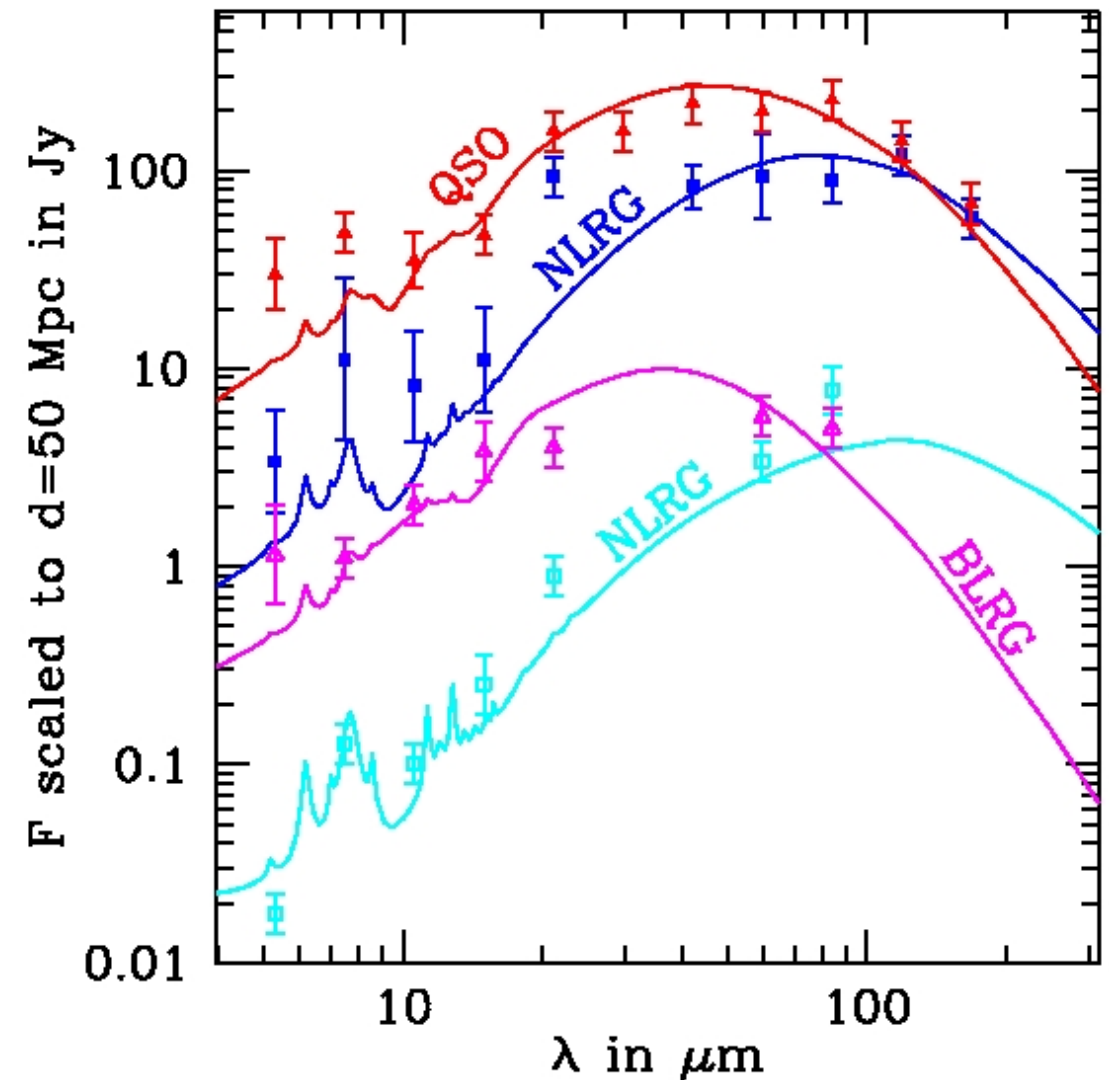
The evolution of spectral energy distribution (SED) of elliptical galaxies. The far-UV part is dominated by hot subdwarf stars from binary interactions when the age is larger than 1 Gyr (Han et al., 2007, MNRAS, 380, 1098).

<http://www1.yao.ac.cn/~zhanwenhan/bps.html>



# SED de AGNs

- Uma pequena fração das galáxias tem um SED (spectral energy distribution) que é muito mais larga, **cobrando de raio X ao rádio**.
- E a parte óptica e UV revela numerosas linhas de emissão intensas.
- Algumas das linhas largas indicam **velocidades de  $\sim 10.000 \text{ km/s}$**
- Muitas AGNs são variáveis, mudando sua luminosidade substancialmente em poucos meses, dias ou até horas



# Características observacionais em comum

---

- (I) uma região nuclear compacta muito mais brilhante do que uma região de mesmo tamanho em uma galáxia normal;
- (II) emissão de radiação não-termal: emissão rádio de origem síncroton, emissão em raios-X de origem Compton-inverso;
- (III) fortes linhas de emissão, tanto de transições permitidas quanto proibidas;
- (IV) variabilidade na emissão de contínuo e/ou linhas em escalas de tempo relativamente pequenas.

Table 14.1. Local number densities.

| Type of object     | Number density [ $\text{Mpc}^{-3}$ ] |
|--------------------|--------------------------------------|
| Field galaxies     | $10^{-1}$                            |
| Luminous spirals   | $10^{-2}$                            |
| Seyfert galaxies   | $10^{-4}$                            |
| Radio galaxies     | $10^{-6}$                            |
| QSOs               | $10^{-7}$                            |
| Radio-loud quasars | $10^{-9}$                            |

# AGNs

---

- A luminosidade não-termal está confinada a **uma região extremamente pequena** da galáxia (não maior do que o Sistema Solar), mas pode ser até  $10^4$ x mais luminosa do que o restante da galáxia
- As linhas de emissão largas em galáxias foram inicialmente reportadas em 1907, mas o primeiro estudo sistemático foi de **Seyfert (1943)**.
- Na **década de 50**, a radio astronomia floresceu, e muitas das mais fortes fontes de rádio descobertas estavam associadas a galáxias elípticas.
- Os primeiros **quasares** foram descobertos na **década 60** ('quasi-stellar radio source'), como 'rádio galáxias sem galáxias'. Quasares *radio-quiet* (quasi-stellar objects, **QSOs**) foram encontrados depois procurando por objetos "estelares" que emitiam muito mais em UV e IV do que o esperado pela emissão no óptico (~30x mais comuns do que quasares).

# Famílias de AGNs

Radio-quiet

LINER

Seyfert 2

Seyfert 1

QSOs

Rádio Galáxias

Quasares

OVVs

BL Lac

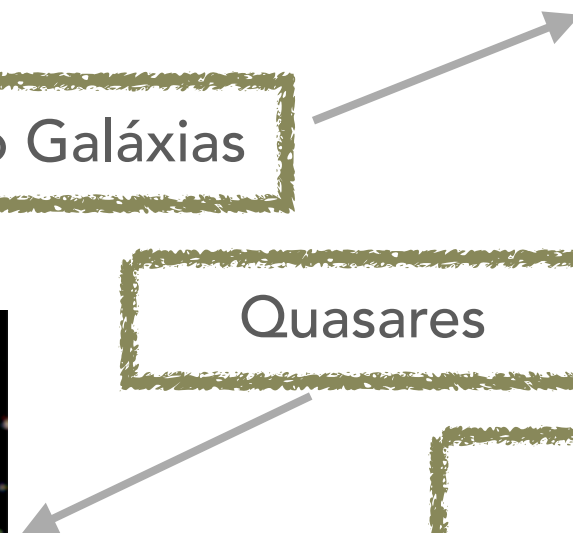
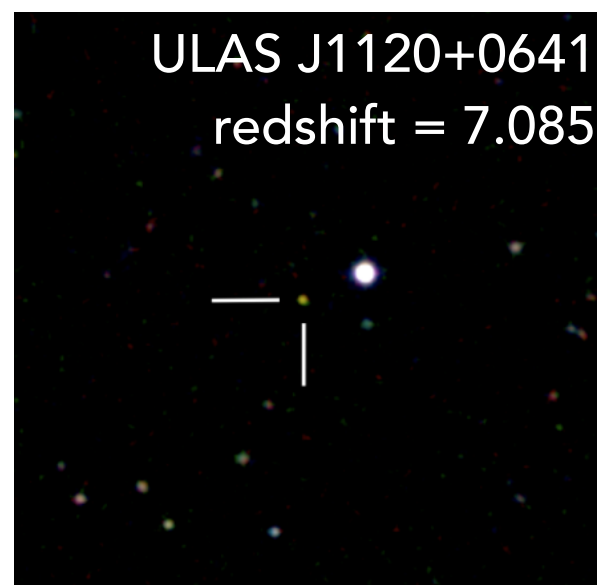
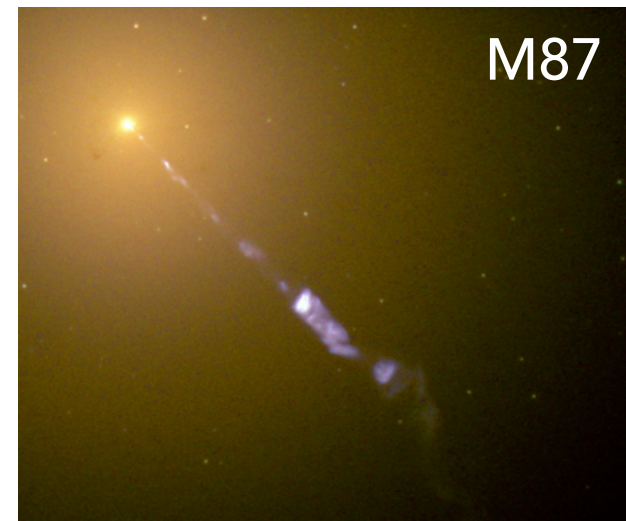
Radio-loud

M104

M87

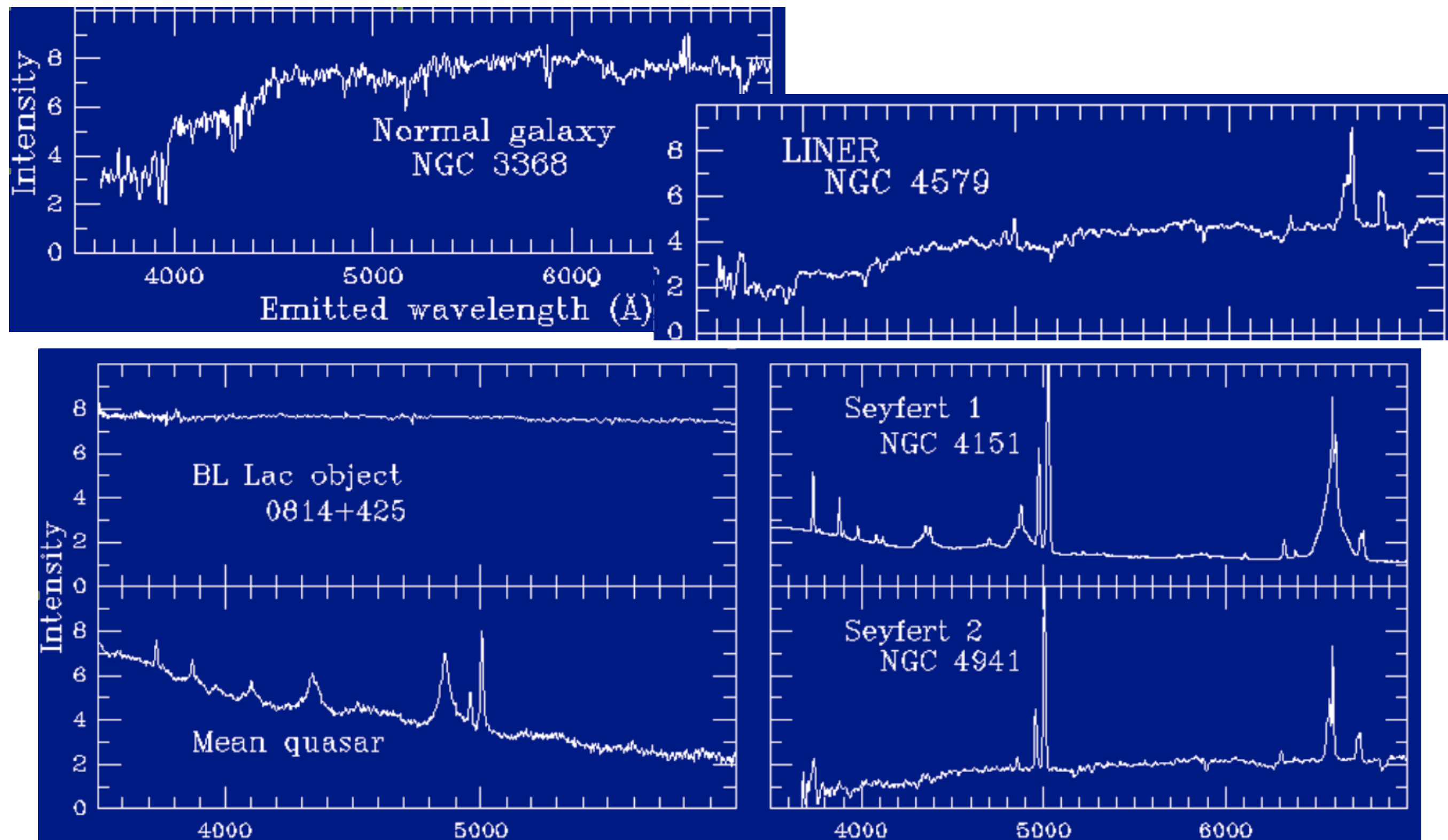
ESO 97-G13

ULAS J1120+0641  
redshift = 7.085



# Diferenças no espectro visível

---



# Como podemos entender a variedade de AGNs?

---

- São todas as AGNs as mesmas estruturas, mas observadas de modos diferentes?
- Ou cada AGN é um fenômeno distinto?

## 1. THE AGN FAMILY: CLASSIFICATION AND UNIFICATION

### 1.1. AGN Classification

An active galactic nucleus (AGN) is defined here as a galaxy containing a massive ( $> 10^5 M_{\odot}$ ) accreting black hole (BH) with an Eddington ratio exceeding the (somewhat arbitrary) limit of  $L_{\text{AGN}}/L_{\text{Edd}} = 10^{-5}$ , where  $L_{\text{AGN}}$  is the bolometric luminosity and  $L_{\text{Edd}} = 1.5 \times 10^{38} M_{\text{BH}}/M_{\odot} \text{ erg s}^{-1}$  is the Eddington luminosity for a solar composition gas. This definition excludes the Milky Way Galaxy but includes a large number of low-ionization nuclear emission-line regions (LINERs) and low-ionization radio galaxies. Most AGNs include several of the following components.

# Características observacionais em comum

---

- (I) uma região nuclear compacta muito mais brilhante do que uma região de mesmo tamanho em uma galáxia normal;
- (II) emissão de radiação não-termal;
- (III) fortes linhas de emissão;
- (IV) variabilidade na emissão de contínuo e/ou linhas em escalas de tempo relativamente pequenas.

Table 14.1. Local number densities.

| Type of object     | Number density [ $\text{Mpc}^{-3}$ ] |
|--------------------|--------------------------------------|
| Field galaxies     | $10^{-1}$                            |
| Luminous spirals   | $10^{-2}$                            |
| Seyfert galaxies   | $10^{-4}$                            |
| Radio galaxies     | $10^{-6}$                            |
| QSOs               | $10^{-7}$                            |
| Radio-loud quasars | $10^{-9}$                            |

“The host galaxies of most AGNs are SF galaxies (Rosario et al. 2012, 2013).”

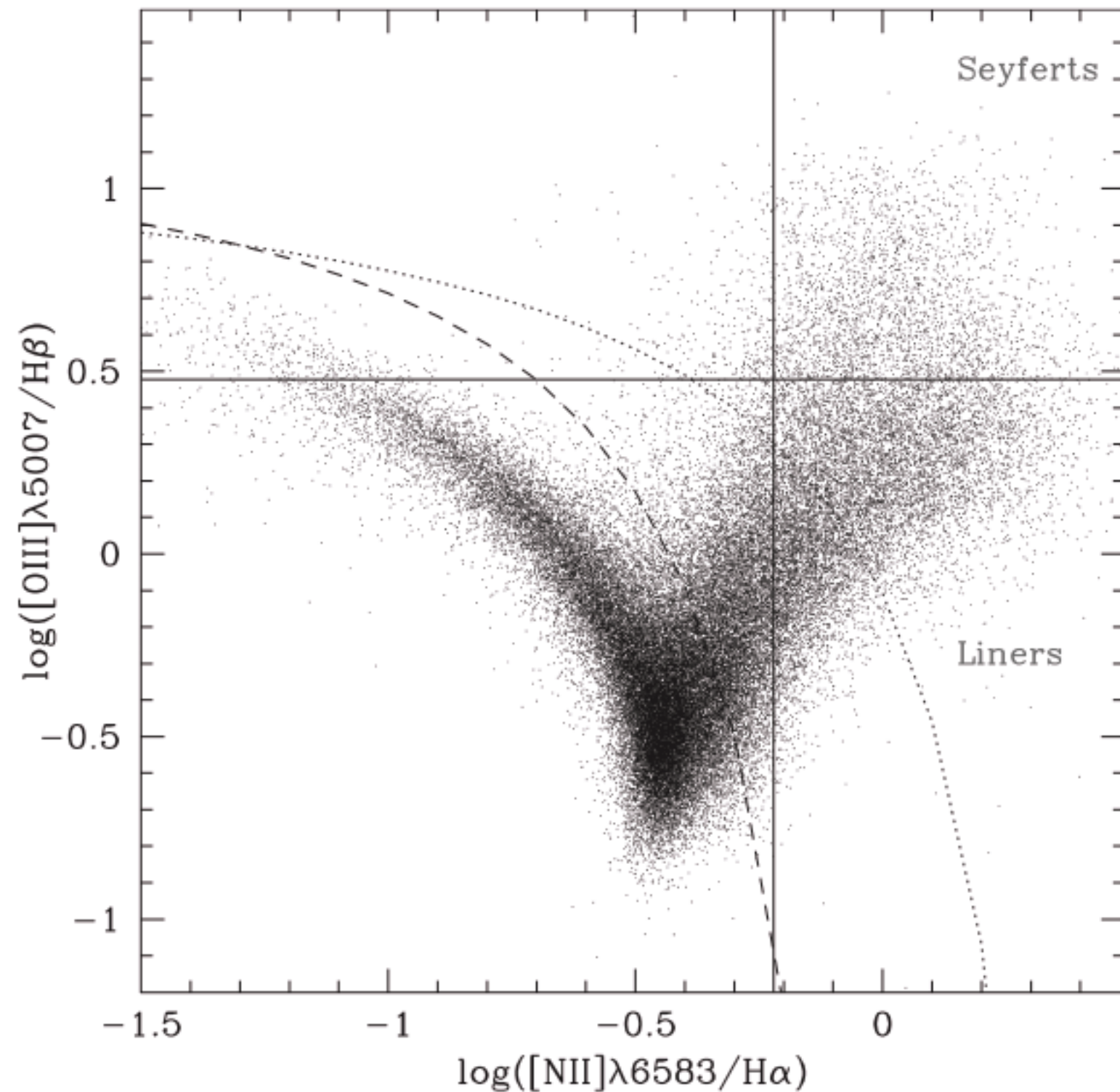


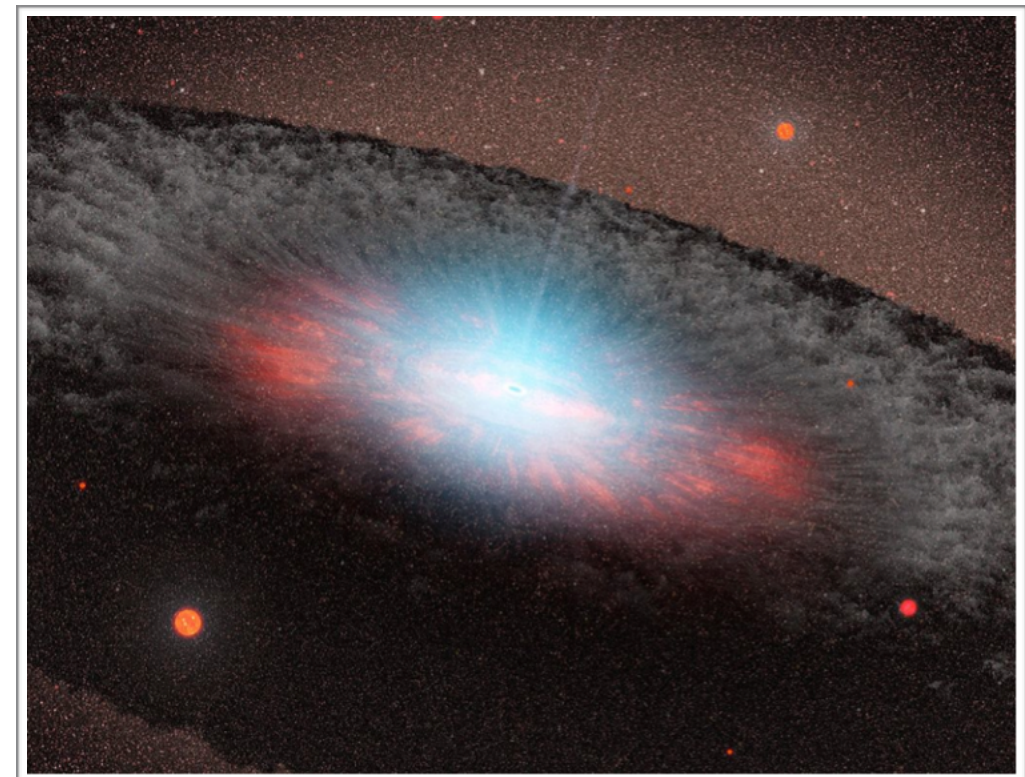
Fig. 14.6. The emission-line flux ratio  $[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta$  versus the ratio  $[\text{NII}]\lambda 6583/\text{H}\alpha$  for a galaxy sample constructed from the SDSS. A diagram of emission-line ratios like this is often called a BPT diagram, after Baldwin et al. (1981) who demonstrated its usefulness for separating AGN from normal star-forming galaxies. The dashed curve represents the demarcation line of pure star formation defined by Kauffmann et al. (2003a) and the dotted line is the extreme starburst demarcation line of Kewley et al. (2001). Seyfert galaxies are often defined to have  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta > 3$  and  $[\text{NII}]/\text{H}\alpha > 0.6$ , and LINERs to have  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta < 3$  and  $[\text{NII}]/\text{H}\alpha > 0.6$ . [Adapted from Kauffmann et al. (2003a)]

# O paradigma do Buraco Negro Super Massivo

---

- Em termos energéticos, uma AGN é extraordinária em termos da quantidade de energia emitida em uma região tão pequena
- Uma questão óbvia a se fazer é como essa energia é gerada
- Hoje em dia é amplamente aceito que o motor central é um buraco negro supermassivo (SMBH), idéia originalmente proposta por Salpeter (1964), Zel'dovich & Novikov (1964) e Lynden-Bell (1969).

An artist's conception of a supermassive  
black hole and accretion disk.  
NASA JPL/Public Domain



# O paradigma do Buraco Negro (BN) Super Massivo

---

- Material frio próximo ao BN forma um disco de acreção
- Viscosidade e processos dissipativos fazem a matéria espiralar em direção ao BN, transportando matéria para a parte interna, enquanto causam aquecimento do disco
- O material irradia até chegar à última órbita estável, e "cai" no BN
- Esperamos que  $\sim 0.1Mc^2$  seja emitido como radiação; isso é muito mais eficiente do que fusão nuclear, que converte menos do que 1% de  $Mc^2$
- Uma coroa de material quente se forma sobre o disco de acreção e pode acelerar os fótons até energias de raios-X por efeito Compton inverso
- Campos magnéticos são distorcidos com o fluxo de gás quente ionizado e, perto do BN, podem se tornar forte o suficiente para canalizar jatos de plasma relativístico, jogando matéria ao longo do eixo de rotação a velocidades próximas a da luz

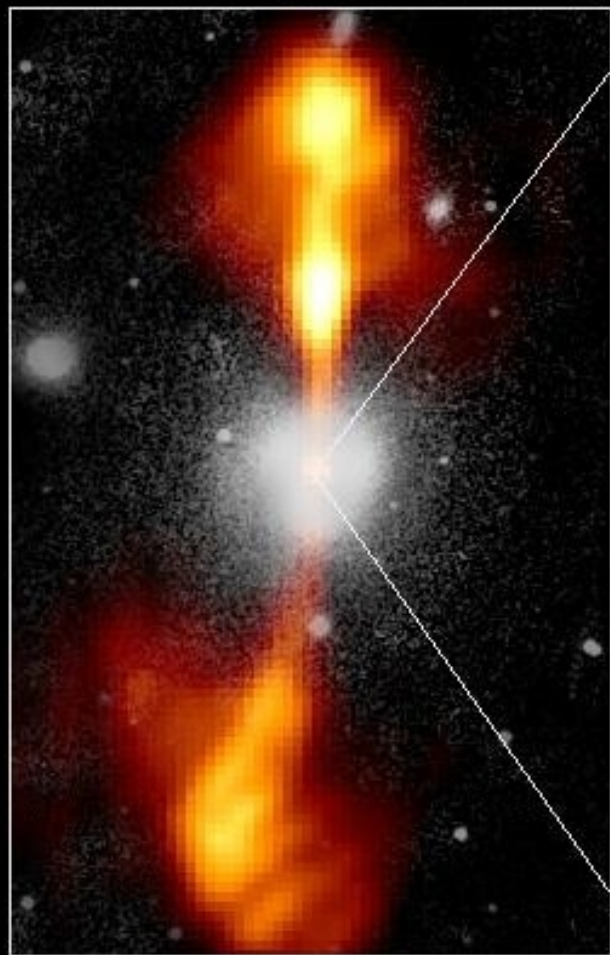
# Uma imagem direta do disco de poeira em torno de um SMBH

## Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

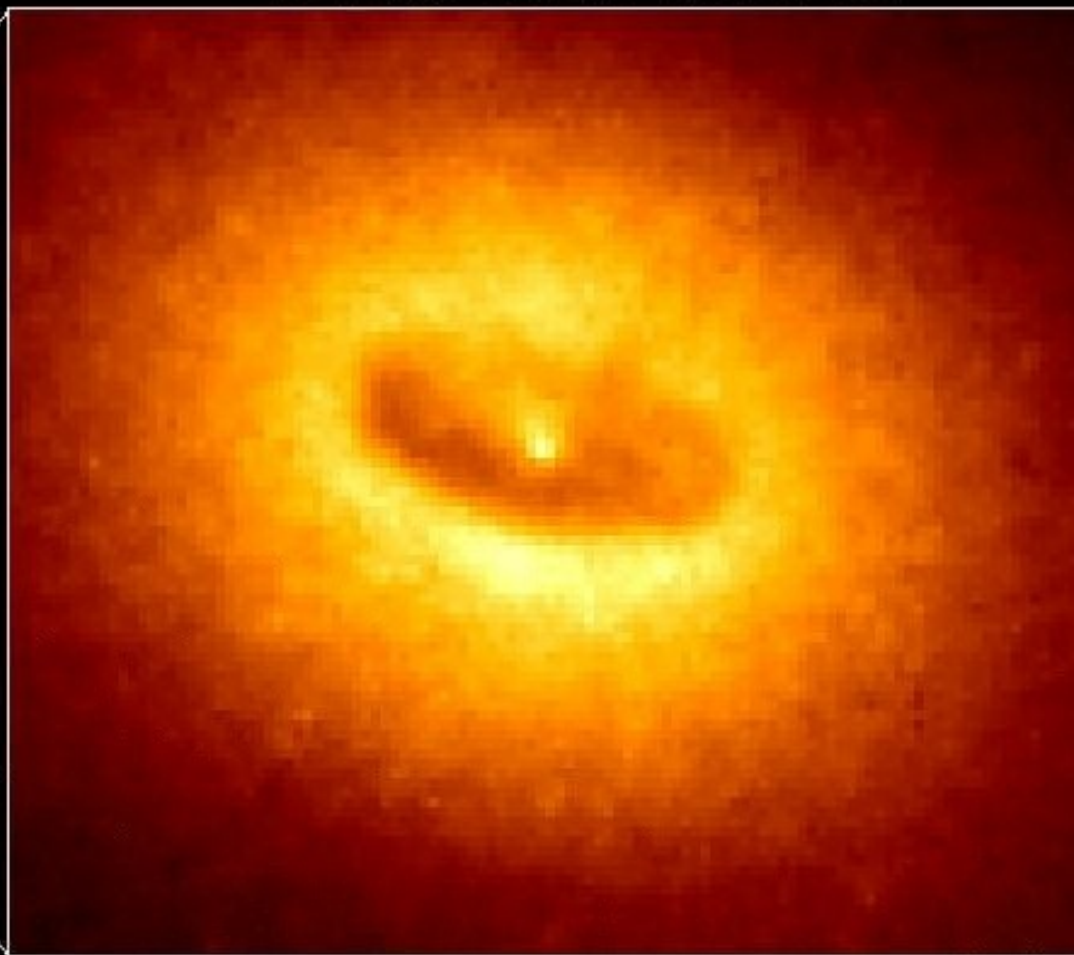
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



1.7 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS

[Right]: A giant disk of cold gas and dust fuels a possible black hole at the core of the galaxy. Estimated to be 300 light-years across, the disk is tipped enough (about 60 degrees) to provide astronomers with a clear view of the bright hub, which presumably harbors the black hole. The dark, dusty disk represents a cold outer region which extends inwards to an ultra-hot accretion disk with a few hundred million miles from the suspected black hole. This disk feeds matter into the black hole, where gravity compresses and heats the material. Hot gas rushes from the vicinity of the black hole's creating the radio jets. The jets are aligned perpendicular to the disk.

# O modelo padrão

---

- Uma grande parte da radiação do AGN deve ser obscurecida por gás e poeira próximo ao disco de acreção, que será re-irradiada em outro comprimento de onda (IR).
- Assumimos que a AGN é gerada pelo gás sendo acretado no BN, e a fonte de energia é o potencial gravitacional do buraco negro central

$$L = \frac{GM_{\text{BH}}}{r} \dot{M}_{\text{BH}}$$

- A radiação é forte o suficiente para exercer considerável pressão sobre o gás ao redor; a luminosidade de Eddington é o maior valor de  $L$  que ainda permite que o material caia no BN:

$$L_{\text{E}} = \frac{4\pi G \mathcal{M} m_{\text{p}} c}{\sigma_{\text{T}}} \approx 1.3 \times 10^{31} \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} \text{ W} \approx 30\,000 \times \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} L_{\odot},$$

# LINERs

---

- low-ionization nuclear emission line regions
- características semelhantes a Seyferts, mas as linhas proibidas se originam de átomos pouco ionizados ou neutros
- 75% das LINERs são elípticas, S0/a-Sab e são comuns em LIRGs
- são bastante comuns (cerca de 1/3 das galáxias próximas, até 40Mpc)
- Há um debate se a fonte de energia é AGN de fato, ou regiões de formação estelar intensas



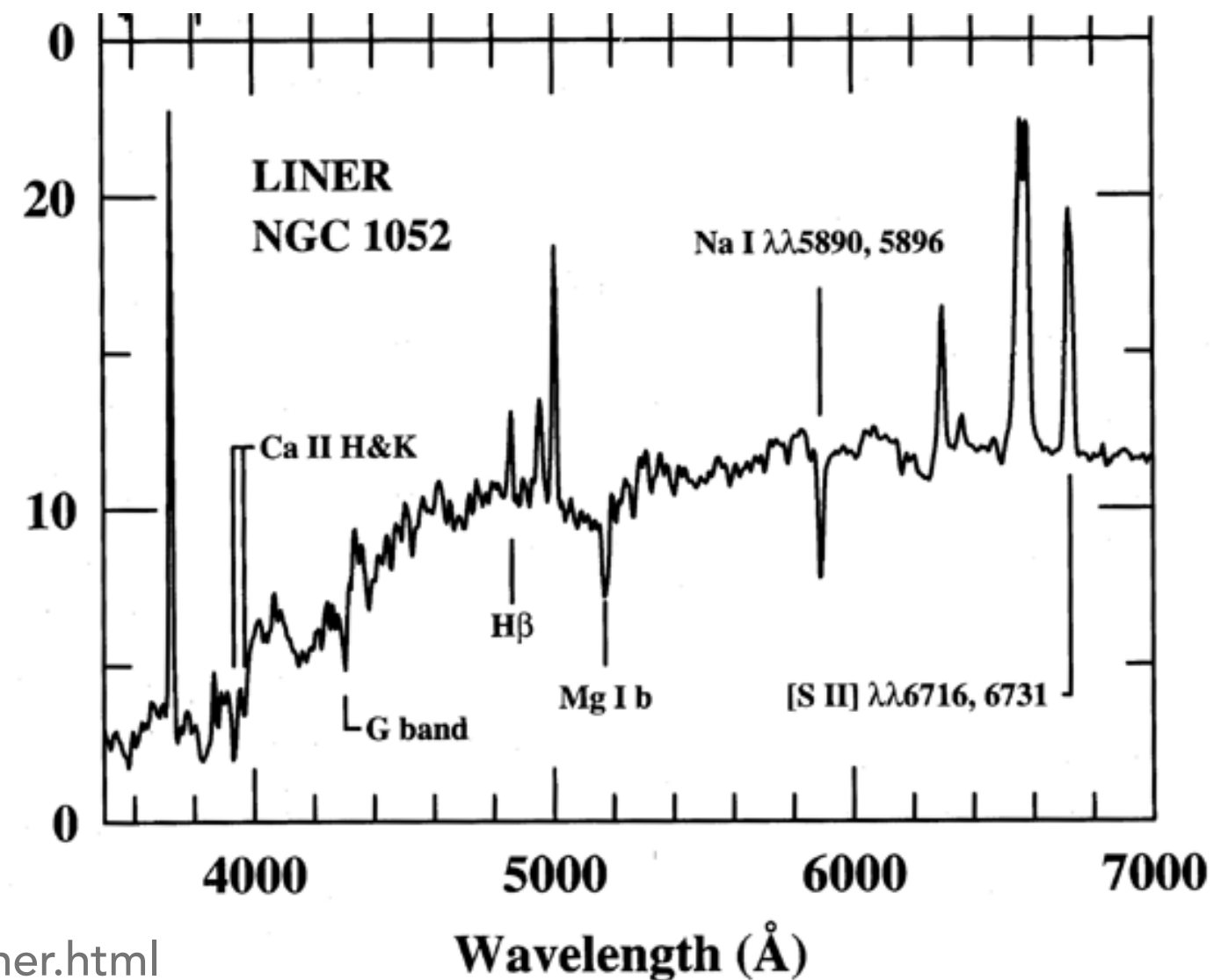
Sombrero (M104)

<http://www.spacetelescope.org/images/opo0328a/>

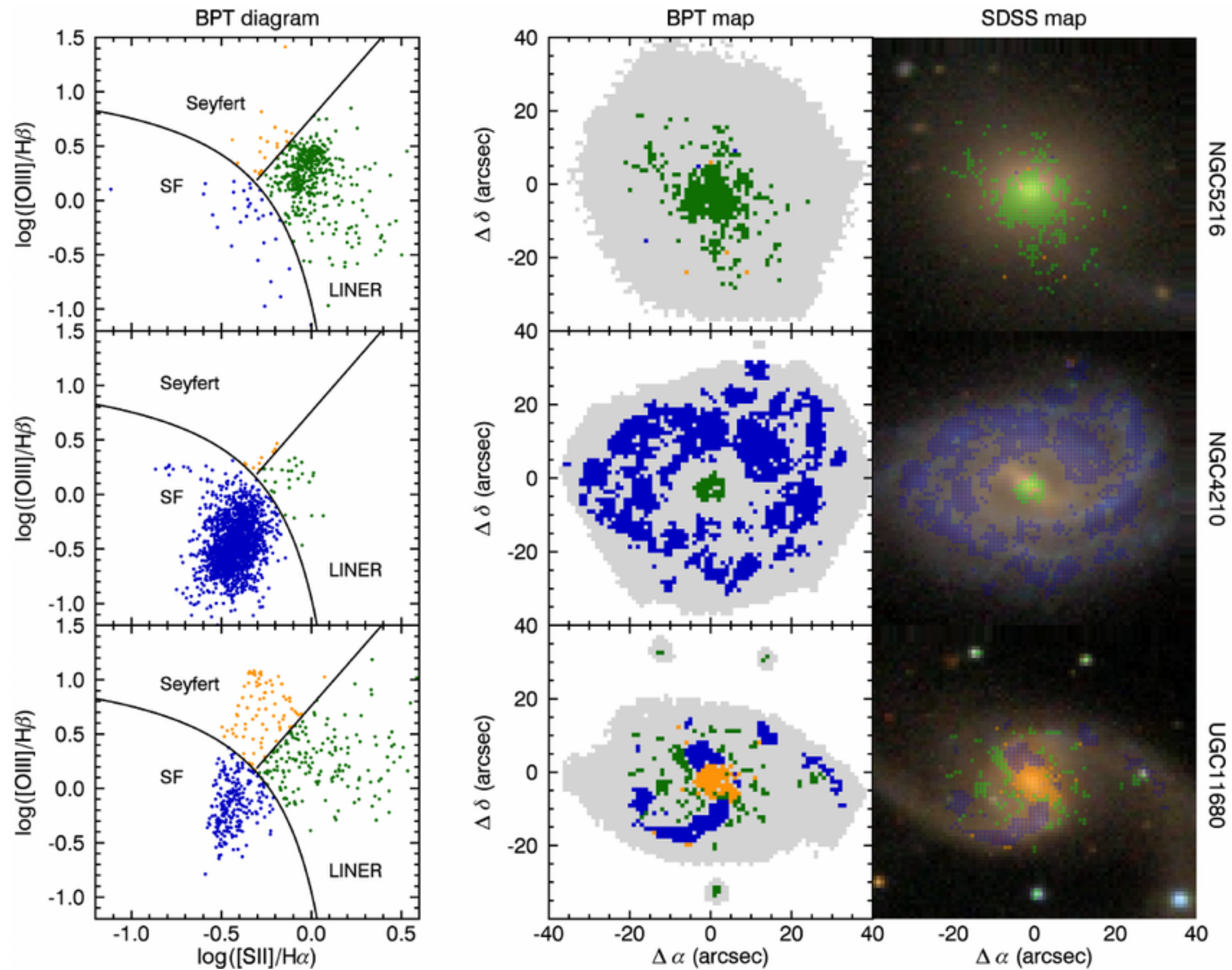
# LINERs

---

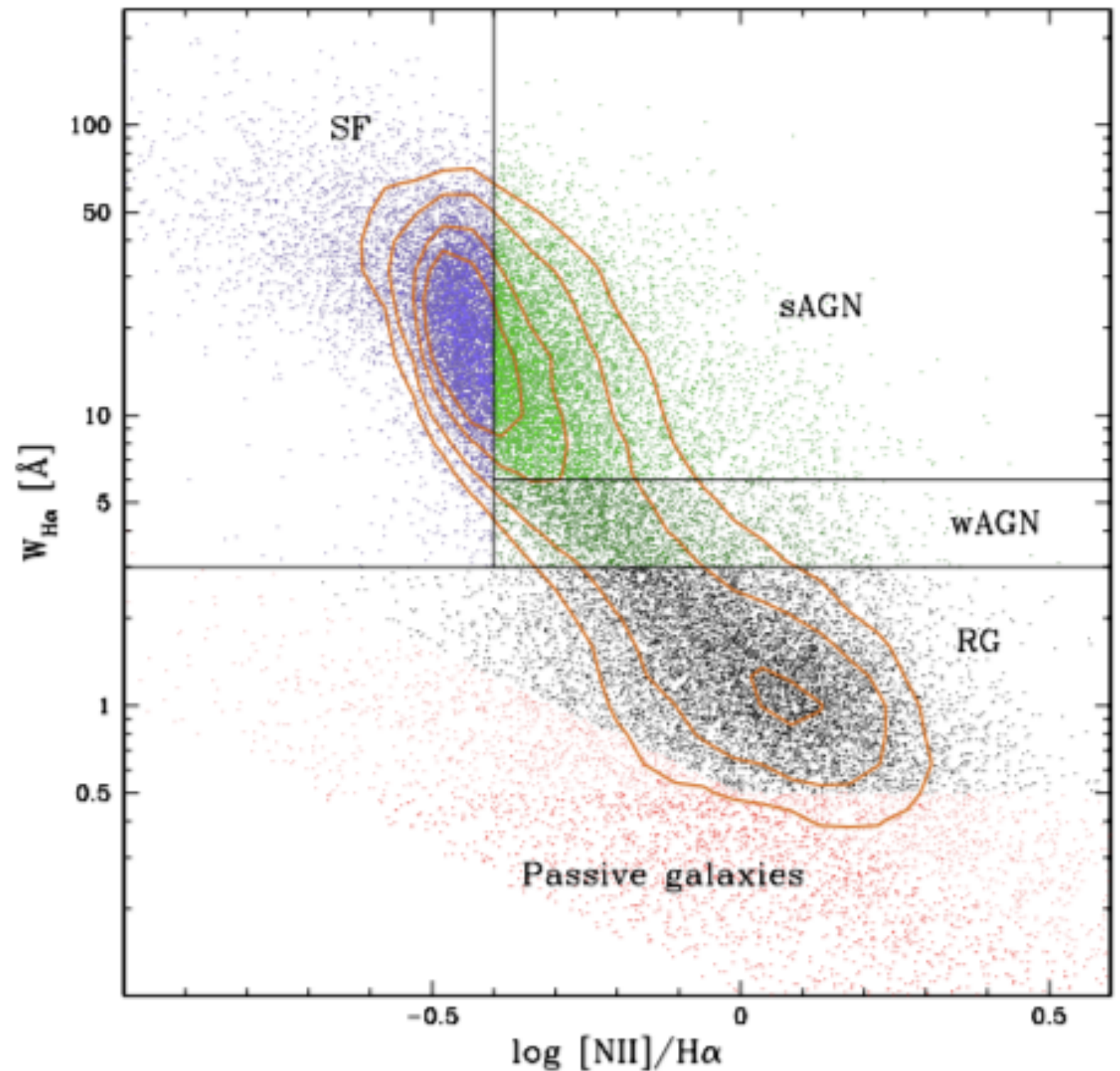
The optical spectrum of NGC 1052 is shown, with important emission lines identified (Ho, Filippenko, and Sargent 1993). Important differences between Seyfert 2s and LINERs are apparent: the [O III] 5007 / H flux ratio is much larger in Seyfert 2s than in LINERs, and low-ionization lines ([N II] 6716, 6731, [S II] 6548, 6853, [O II] 3727, and [O I] 6300) are all relatively prominent in LINER spectra. The y-axis units are  $F$  (ergs s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> Å<sup>-1</sup>).



# As LINERs são AGN mesmo?



# As LINERs são AGN mesmo?

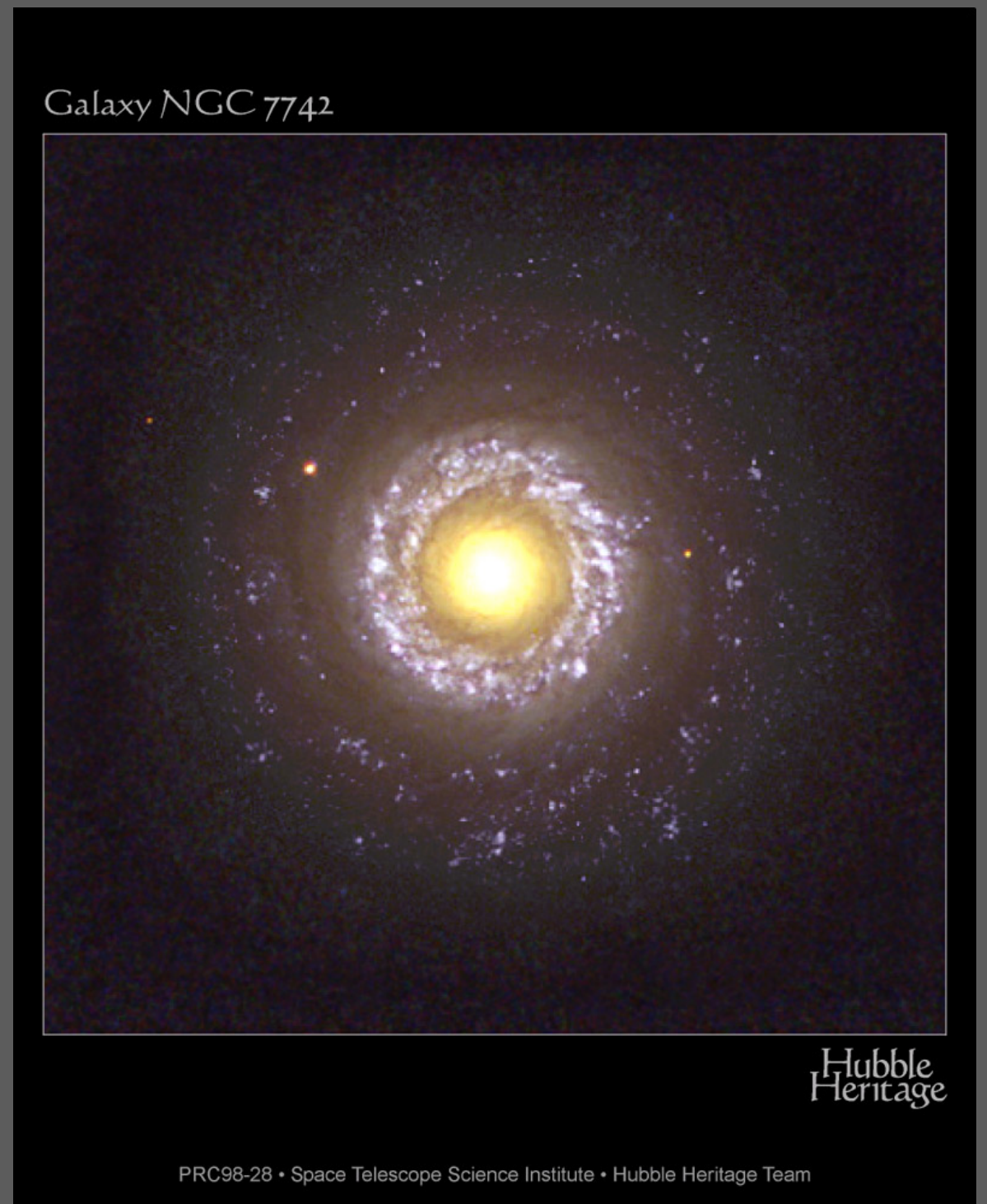


**Figure 6.** The WHAN diagram with the revised categories: SF, sAGN, wAGN, RGs and PGs. Points with one of  $[NII]$  or  $H\alpha$  weaker than  $0.5 \text{\AA}$  are plotted in orange, except for PGs, which are plotted in red.

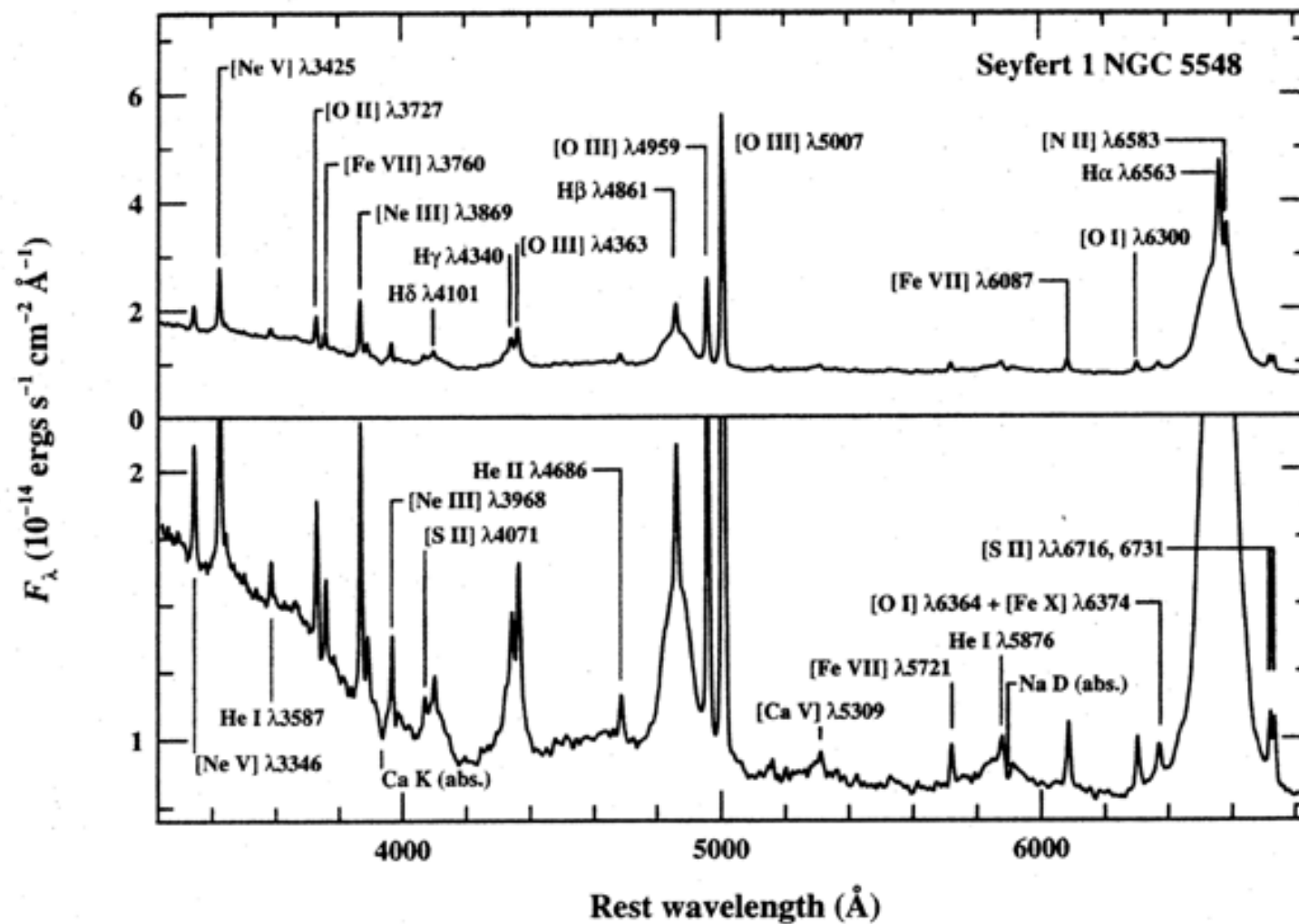
# Seyfert Galaxies

---

- Estão **associadas a discos**: quase todas as Seyferts habitam S0 ou espirais
- SED: contínuo não-térmico e linhas de emissão intensas e alargadas, de níveis de alta excitação
- É comum apresentar variabilidade
- **Tipo 1**: linhas alargadas de transições permitidas de H, indicando velocidades de 1000 a 5000 km/s. Linhas proibidas (como [OIII]) estreitas ( $\sim 10^2$  km/s)
- **Tipo 2**: todas as linhas são estreitas

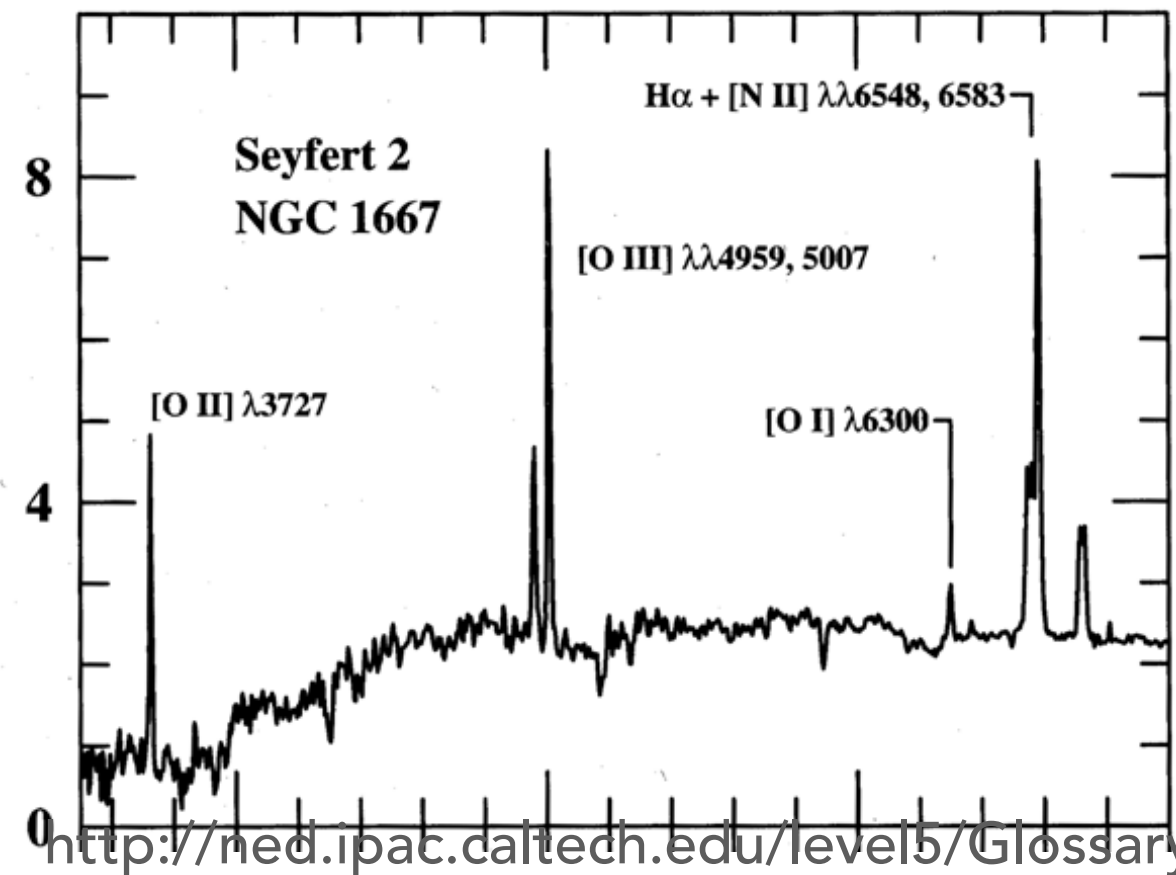


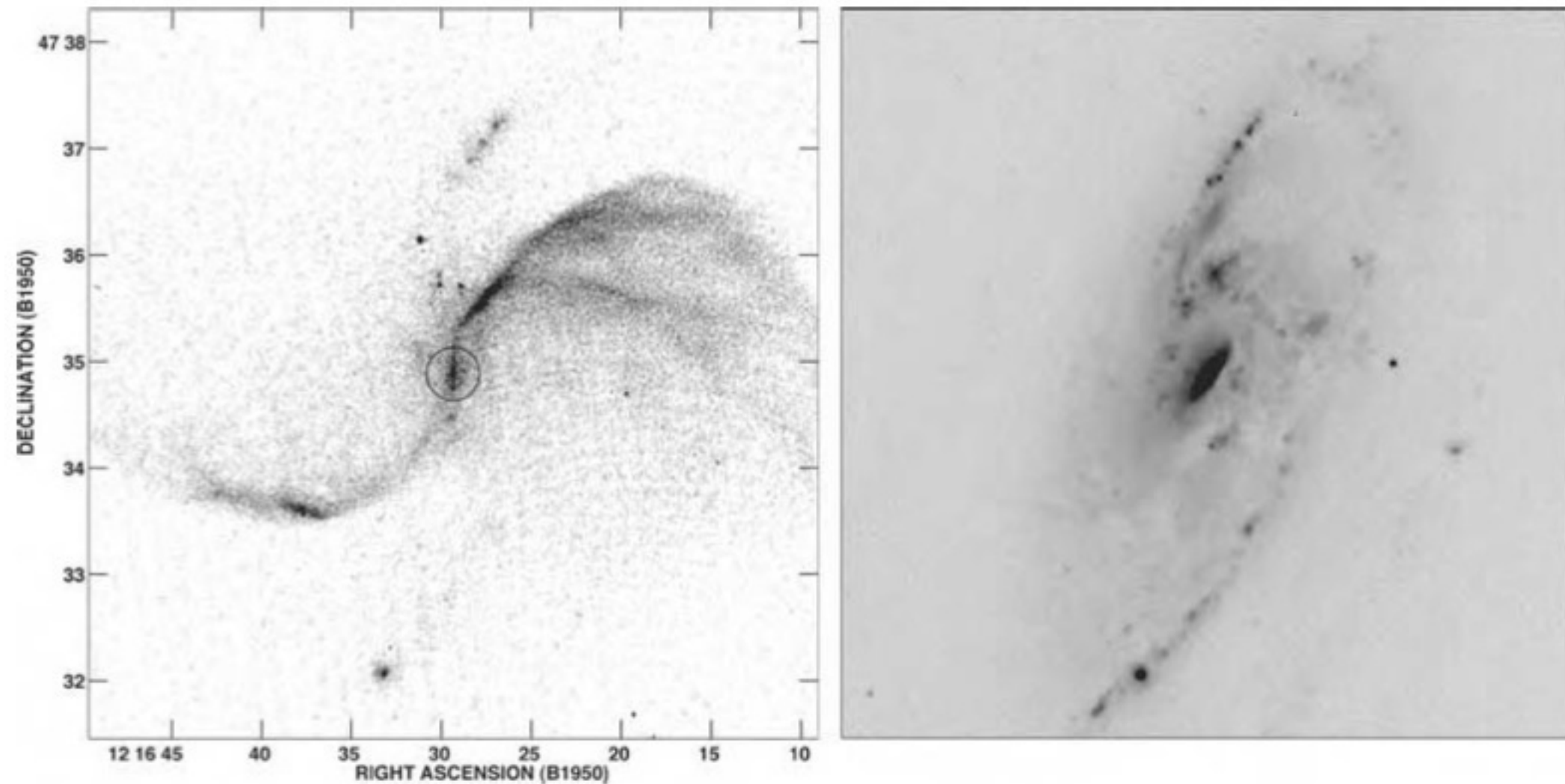
NGC 7742



The optical spectrum of the Seyfert 2 galaxy [NGC 1667](#) is shown, with important emission lines identified (Ho, Filippenko, and Sargent 1993). Some strong absorption lines that arise in the host galaxy rather than the AGN itself are also identified. This spectrum can be compared with the spectrum shown in Figure 1. The units are: Wavelength ( $\text{\AA}$ ) for the x-axis and  $F$  ( $\text{ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ ) for the y-axis. Data courtesy of A. V. Filippenko.

The optical spectrum of the Seyfert 1 galaxy [NGC 1275](#). The prominent broad and narrow emission lines are labeled, as are strong absorption features of the host galaxy spectrum. The vertical scale is expanded in the lower panel to show the weaker features. The full width at half maximum (FWHM) of the broad components is about  $5900 \text{ km s}^{-1}$ , and the width of the narrow components is about  $400 \text{ km s}^{-1}$ . The strong rise shortward of  $4000 \text{ \AA}$  is the long-wavelength end of the "small blue bump" feature which is a blend of Balmer continuum and FeII line emission. This spectrum is the mean of several observations made during 1993 with the 3-m Shane Telescope and Kast spectrograph at the Lick Observatory. Data courtesy of A. V. Filippenko.





**Fig. 9.2.** Seyfert 2 galaxy NGC 4258 (Sbc). Left, a radio map at 20 cm shows oppositely directed twin jets (within the circle), channelling radio-bright plasma from the nucleus to lobes at east and west, and HII regions in the spiral arms. Right, an image in the  $U$  band at  $3700 \text{ \AA}$  shows the bright center, and brilliant knots of young stars in the spiral arms. At distance  $d \approx 7 \text{ Mpc}$ ,  $1' = 2 \text{ kpc}$  – G. Cecil.

# Rádio galáxias

- Galáxias com potência em 1.4GHz maiores do que  $2 \times 10^{23} \text{ W Hz}^{-1}$  ,  $10^2 - 10^3 \times$  mais brilhantes do que a Via Láctea (em rádio)
- Quase todas as rádio galáxias são elípticas
- Também são divididas entre broad-line (BLRGs) e narrow-line (NLRGs)
- É comum a existência de radio lobes que se estendem várias centenas de kpc a megaparsecs do núcleo e jatos



Fig. 14.2. Radio image of 3C175 (a prototypical FR II radio galaxy) at 4.9 GHz (see [Bridle et al., 1994](#)). The source has a redshift  $z = 0.768$ , and the overall linear size of the image is  $212 h^{-1} \text{ kpc}$ . The source shows double lobes with prominent hot spots, a narrow jet, but no counterjet. [NASA/courtesy of nasaimages.org]

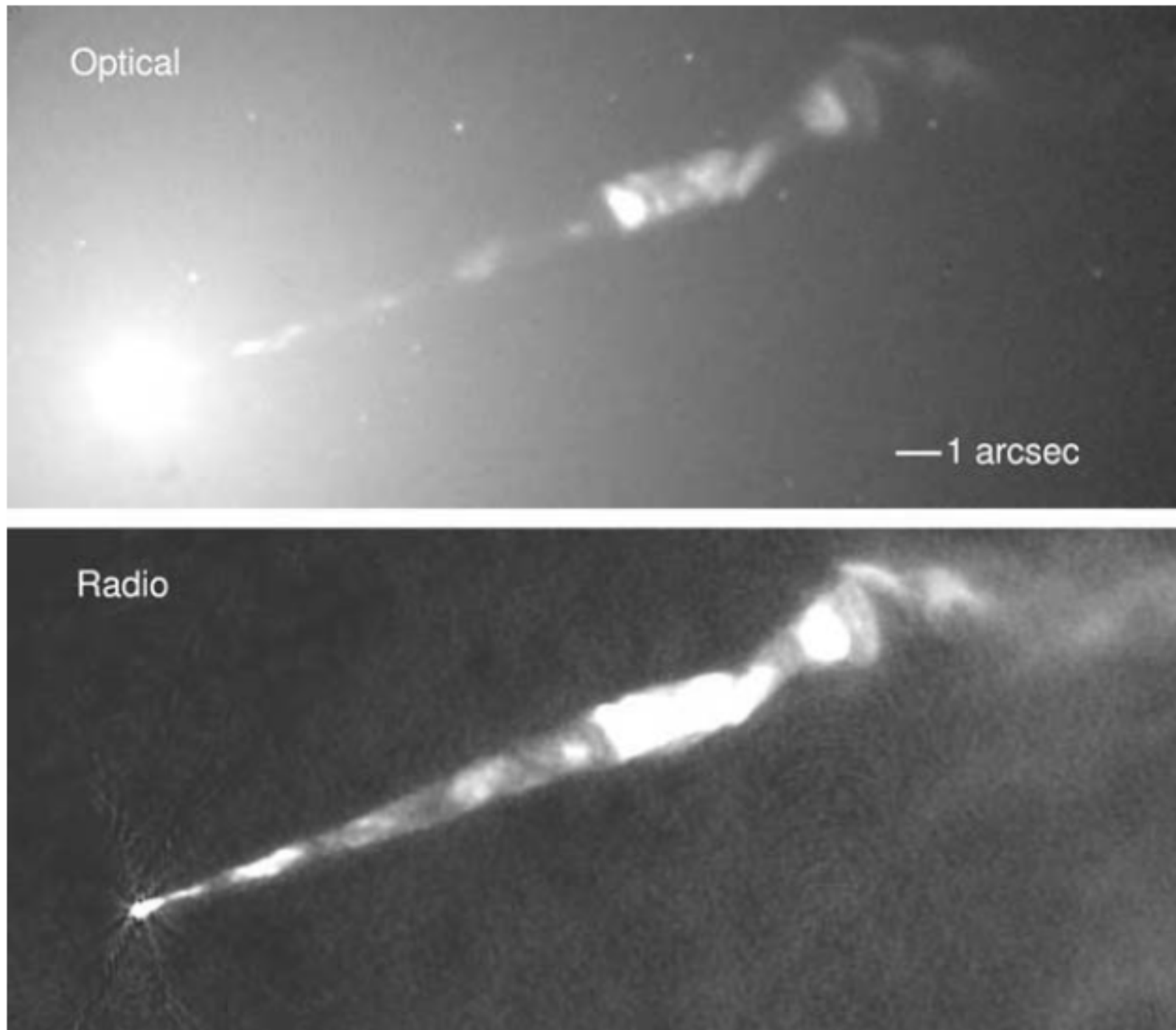
# Rádio galáxias

---

- Usualmente aproximamos o espectro em rádio a

$$L_\nu \propto \nu^{-\alpha};$$

- nos lobos, o índice espectral  $\alpha$  fica entre  $0.7 \lesssim \alpha \lesssim 1.2$ .
- na região nuclear, tipicamente  $\alpha \sim 0$
- Galáxias com grandes lobos são gigantes elípticas ou cDs; frequentemente são as galáxias mais brilhantes de um aglomerado
- **Uma relativa “pobreza” de gás frio parece favorecer a emissão em rádio: rádio galáxias são sempre elípticas enquanto que Seyferts são geralmente espirais; é como se os lobos rádio fossem “abafados” pelo gás denso em torno de um núcleo Seyfert**
- Os jatos indicam onde a energia está sendo canalizada, e alguns emite radiação síncroton também no óptico e raios-X



**Fig. 9.5.** A one-sided jet in the elliptical galaxy M87. Top, in visible light near  $8000 \text{ \AA}$ , from the Hubble Space Telescope, the jet emerges from the glare of the galaxy's center; round white spots are globular clusters. Below, the image at  $2 \text{ cm}$  shows the radio-bright plasma;  $1 \text{ arcsec} \approx 80 \text{ pc}$  – J. Biretta.

# Emissão síncroton

---

- Quando o elétron se move relativisticamente, com  $\gamma \gg 1$ , emite radiação síncroton; quase toda radiação é emitida em um cone de ângulo  $1/\gamma$

$$\gamma \equiv 1/\sqrt{1 - V^2/c^2},$$

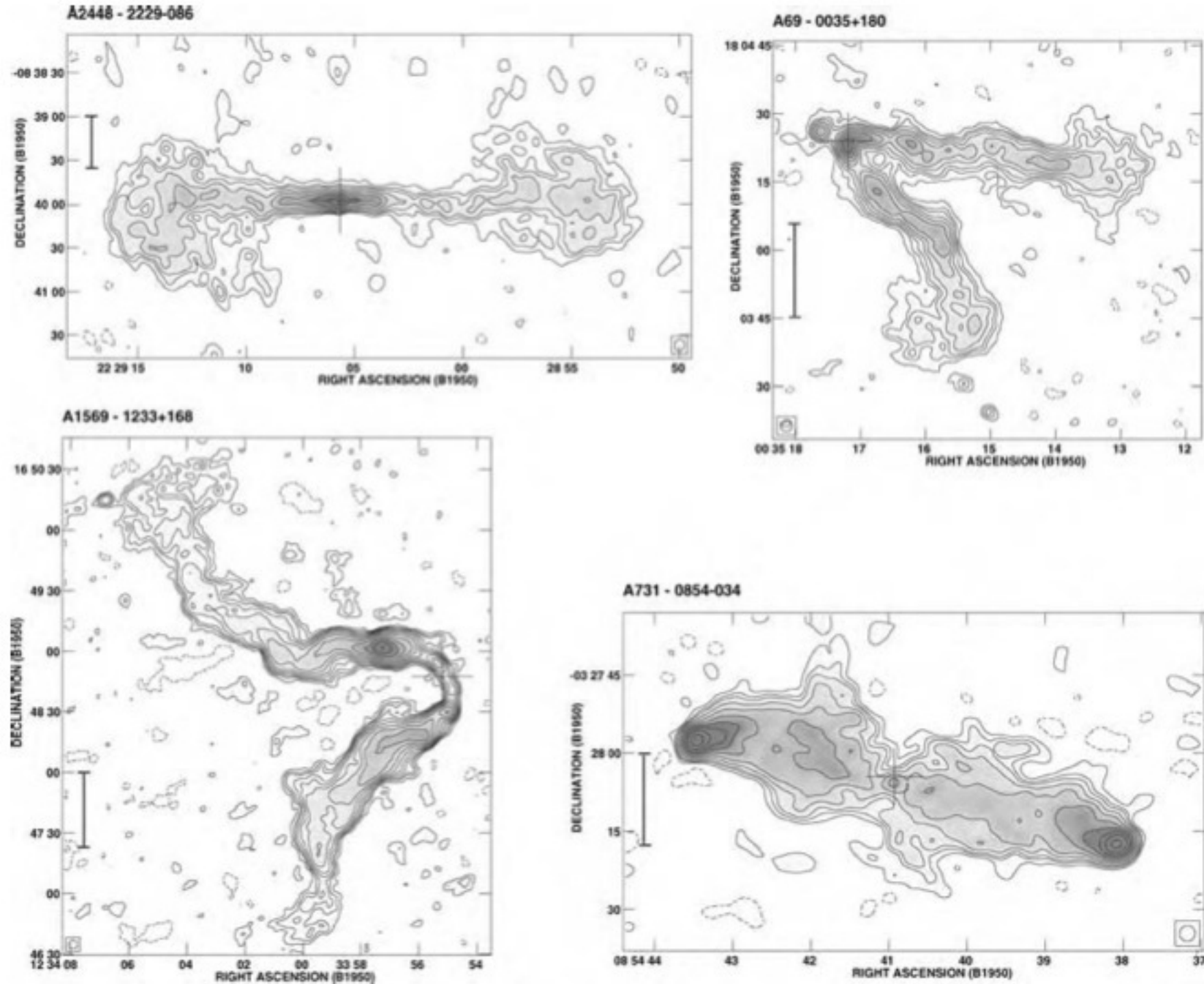
- A maior potência é emitida na frequência:

$$\nu_c = \frac{3}{2}\gamma^2\nu_L = 4.2\gamma^2\left(\frac{B}{1 \text{ G or } 10^{-6} \text{ T}}\right) \text{ MHz.}$$

- E metade da energia é perdida em um tempo

$$t_{1/2} = \frac{\mathcal{E}}{2} \left| \frac{dt}{d\mathcal{E}} \right| \approx 170 \left( \frac{10^{-5} \text{ G or } 10^{-11} \text{ T}}{B} \right)^2 \left( \frac{1000}{\gamma} \right) \text{ Myr.}$$

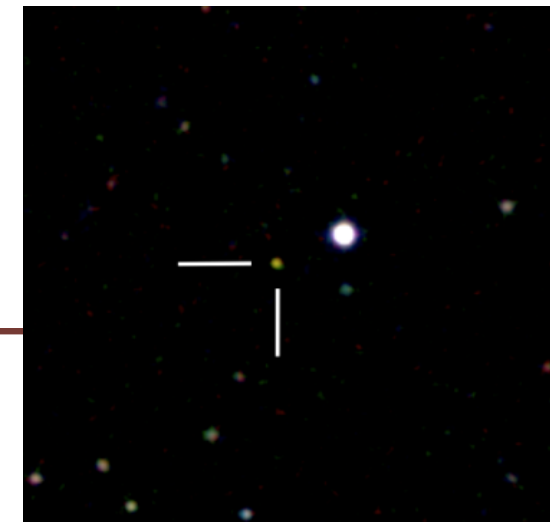
- Para campos de  $10^{-5}$  G, elétrons emitindo a 5 GHz "vivem" por cerca de 10 Myr, mas aqueles de maior energia vivem menos, óptico  $\sim 10^3 - 10^4$  anos, e raio-X por cerca de 100 anos.



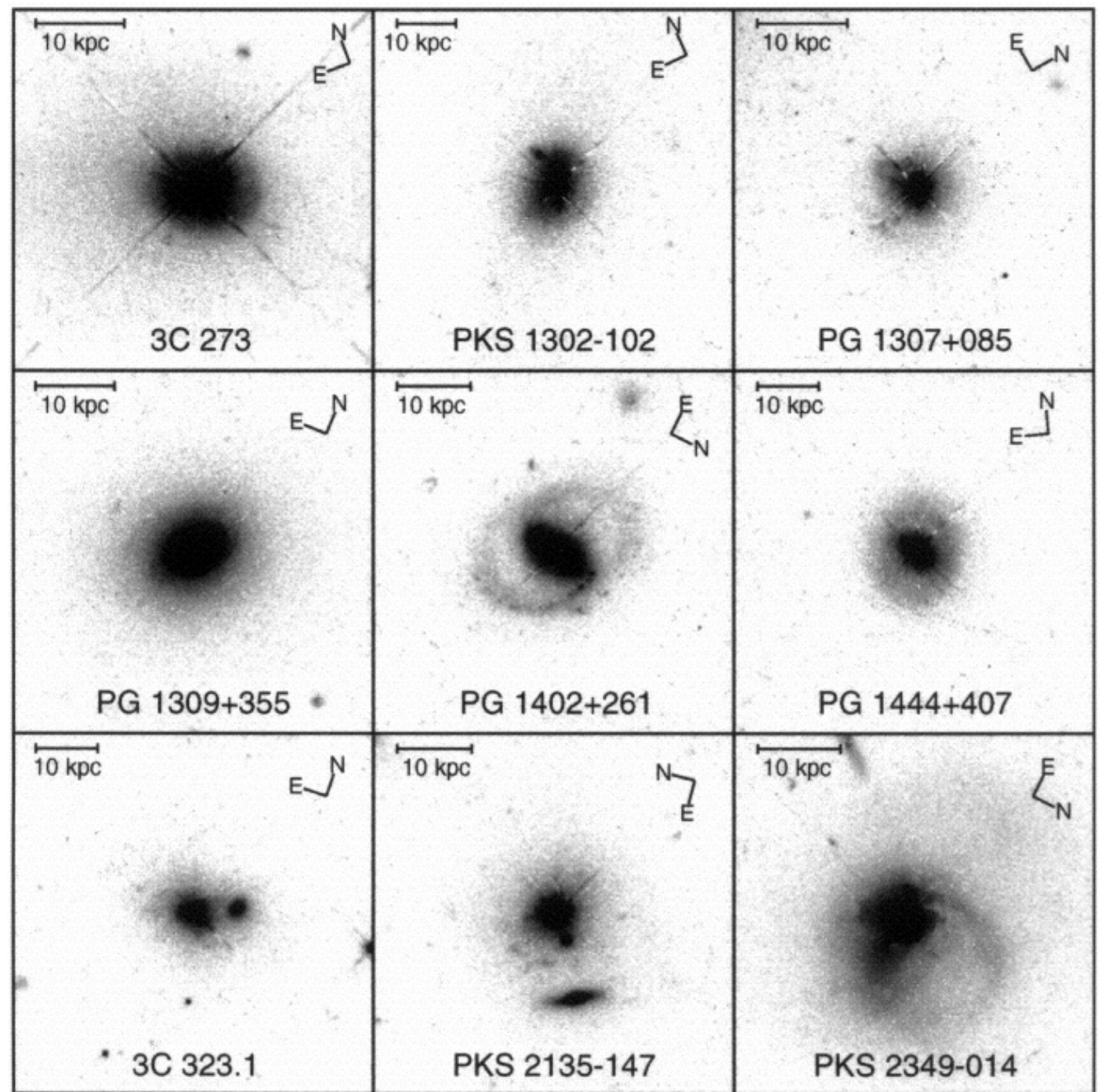
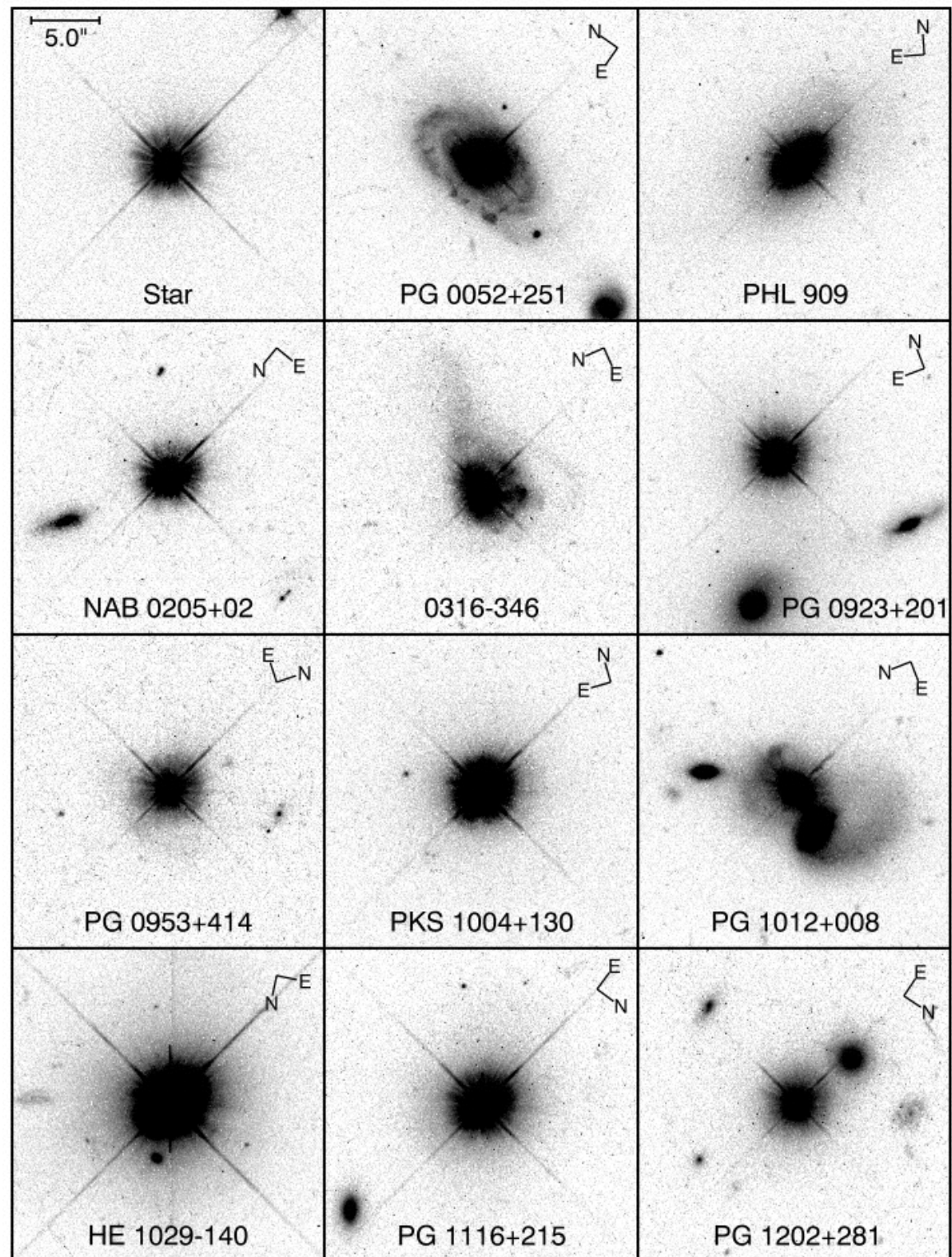
**Fig. 9.4.** Four radio galaxies, observed at 20 cm: galaxy luminosity  $L$  is measured in the  $R$  band, radio power  $P$  in units of  $10^{25} \text{ W Hz}^{-1}$  at 20 cm. Clockwise from top left: a twin jet with  $L \approx 6L_*$ ,  $P \approx 1$ ; a narrow-angle tail source ( $L \approx 3L_*$ ,  $P \approx 1$ ); an edge-brightened classical double ( $L \approx 1.4L_*$ ,  $P \approx 7$ ); and a wide-angle tail ( $L \approx 2L_*$ ,  $P \approx 1.7$ ). The scale bar shows 50 kpc, assuming  $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  and  $\Omega_0 = 1 - M.$  Ledlow.

# Quasares e QSO

---



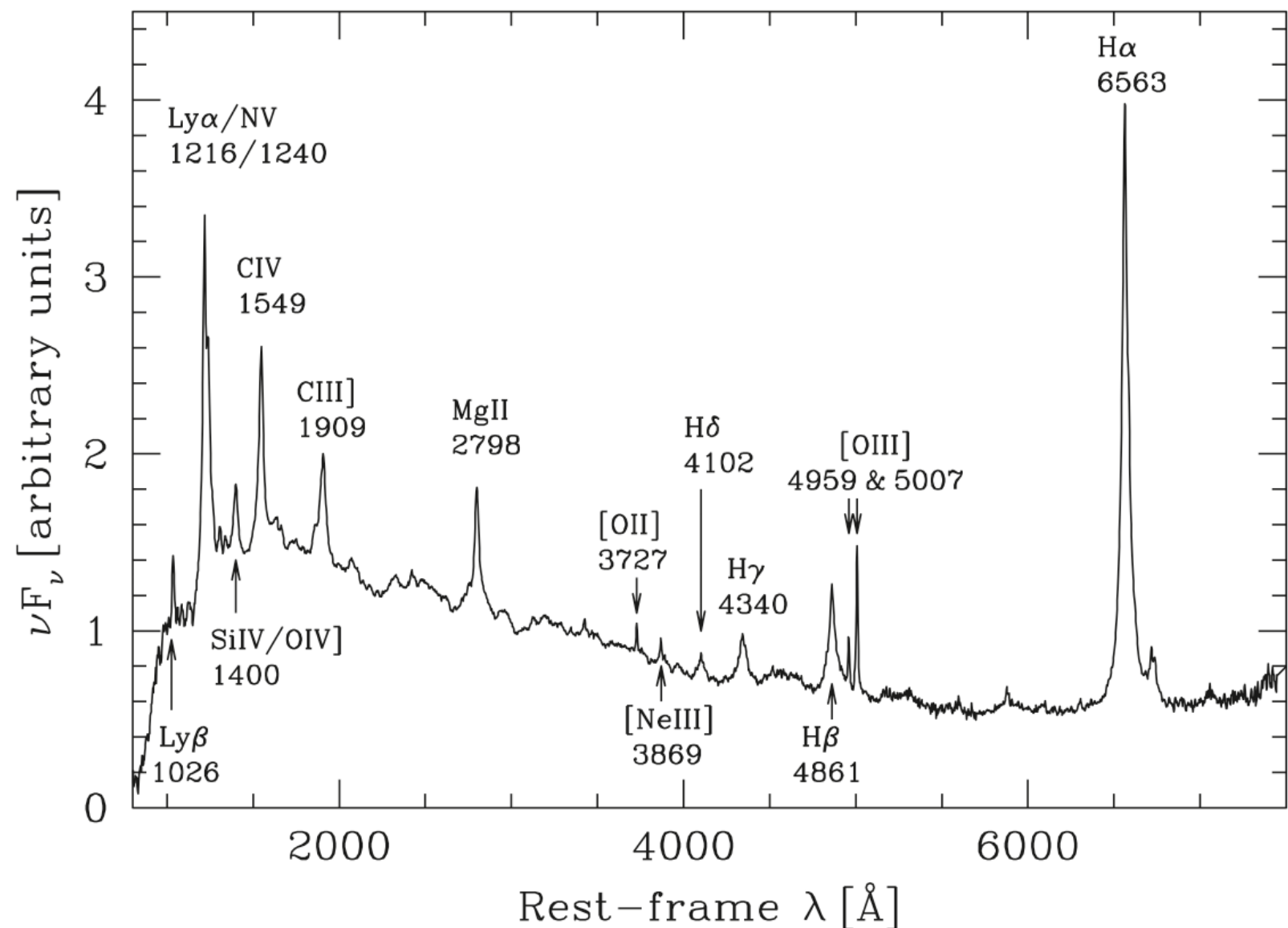
- Quasi-Stellar Radio Source: originalmente usado para as identificações ópticas de fontes de rádio compactas com espectro similar a Seyferts.
- **As características em rádio são similares a fontes intensas de rádio, mas as imagens ópticas não são resolvidas.**
- Observações de rádio de alta resolução espacial mostram que os núcleos são bem compactos ( $\sim 10^{-3}$  arcsec) e alguns revelam estruturas que parecem ser jatos, alguns super-luminais.
- As cores são unusualmente azuis, o que permitiu detectar a existência em óptico de diversos objetos similares mas que, surpreendentemente, não emitem em rádio => quasi-stellar object (QSO), que são quase 100 mais numerosos do que quasares.
- Em alguns livros coloca-se como distinção que quasar são *radio-loud*, e QSO são *radio-quiet* (mas há controvérsias sobre esta nomenclatura)



# Quasar e QSO

- Espectro óptico similar a Seyfert 1
- Luminosidades tão altas quanto  $\sim 1000L^*$  (dificultando a detecção da galáxia hospedeira)

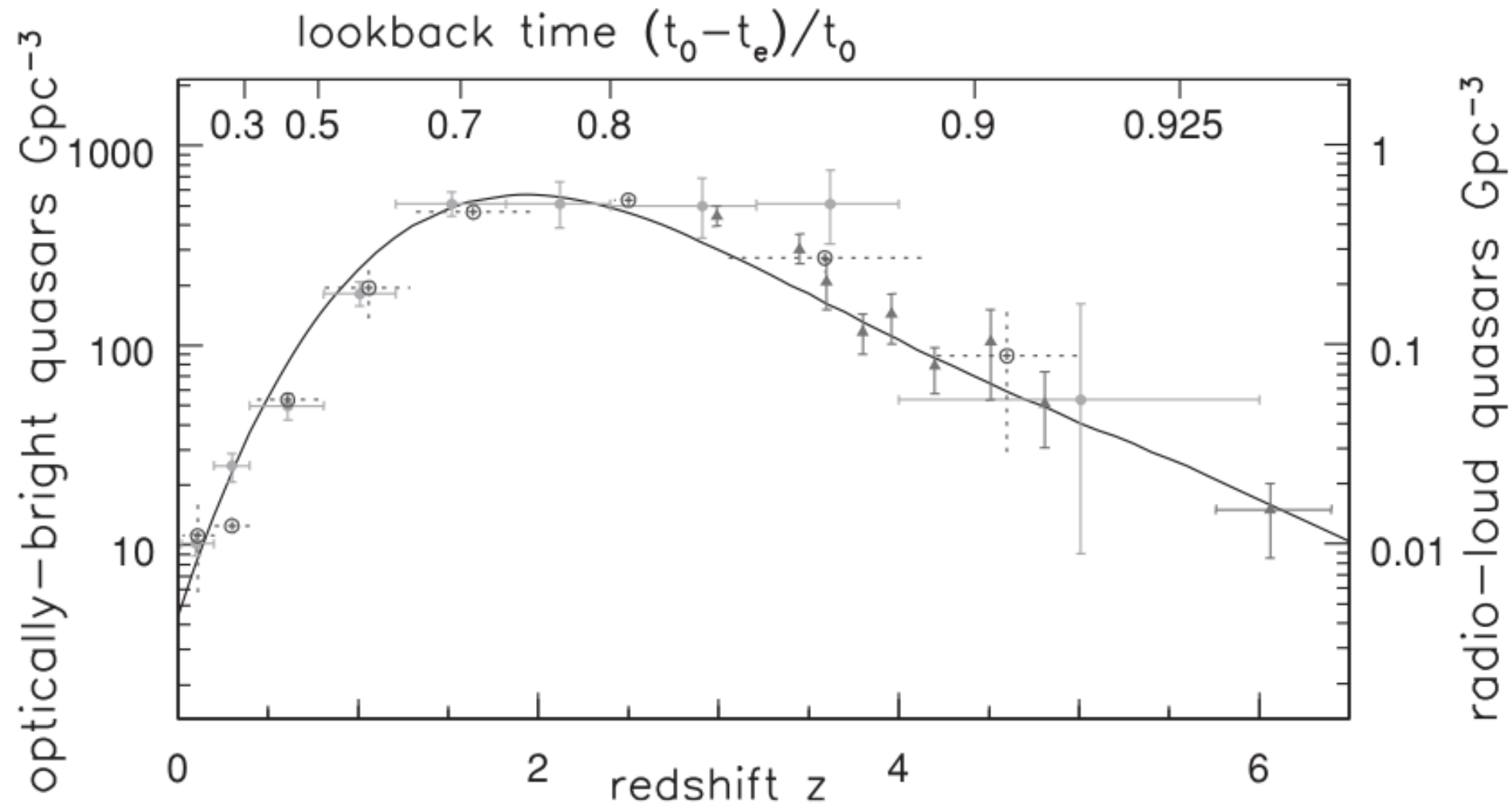
Fig. 14.1. A composite spectrum of QSOs revealing the typical non-thermal continuum and various emission lines. Lines in brackets are forbidden lines, those in semibrackets are semiforbidden lines, and lines without brackets are permitted lines. Note that the permitted lines are much broader than the forbidden lines, as is typical for QSOs and Seyfert 1 galaxies. [Courtesy of C. Foltz and P. Hewett, based on an extension of the data published in Francis et al. (1991)]



# Quasar e QSO

---

- Objetos mais luminosos do Universos, observados até a  $z > 6$
- Análises de linhas de emissão indicam metalicidades próximas da solar: algumas galáxias de 1 Gyr já enriqueceram tanto quanto a vizinhança solar!
- Como nas Seyferts, alguns quasares Tipo II apresentam apenas linhas de emissão "estreitas" ( $< 2000 \text{ km/s}$ )
- Um quasar com  $10^{12} L_{\text{sun}}$  tem um BN com  $\geq 3 \times 10^7 M_{\text{sun}}$ , e precisa acretar massa da ordem ou acima de  $1 M_{\text{sun}}$  pra manter a luminosidade; provavelmente os quasares não mantêm essa luminosidade por mais que  $\sim 1 \text{ Gyr}$ , ou veríamos BN em galáxias locais com  $10^{10} M_{\text{sun}}$ , o que não é observado.
- Mas assim como rádio-galáxias, devem manter a luminosidade por cerca de  $\sim 100 \text{ Myr}$



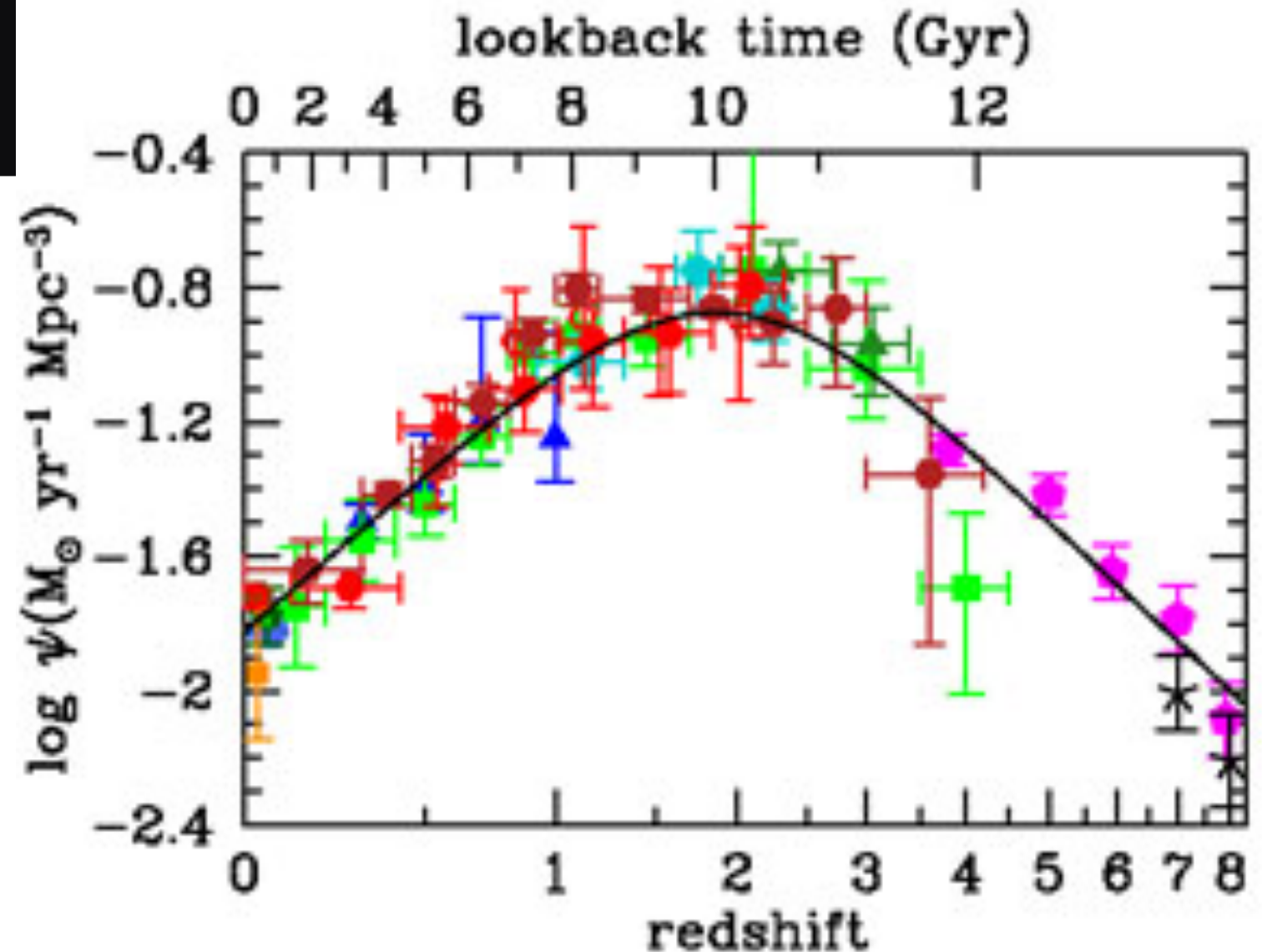
**Fig. 8.13.** The curve shows the density of very radio-loud ( $\nu L_\nu > 3 \times 10^{10} L_{bol,\odot}$  at 2.7 GHz) quasars, triangles show optically-bright quasars ( $L \gtrsim 100 L_\star$ ); both are most common at redshifts  $z \sim 2$ . Numbers of quasars bright in soft X-rays (filled dots) and hard X-rays (open dots) follow the same pattern. Density per comoving  $\text{Gpc}^3$  is calculated using the benchmark model – J. Wall.

Quasares eram mais comuns em  $z \sim 2$ , quando o universo tinha cerca de 3Gyr, 30 a 100 mais comuns do que hoje. Enquanto que em  $z \sim 5$  eles eram apenas poucas vezes mais frequentemente são que hoje.

## Development of Massive Elliptical Galaxies



## Quasares e Formação Estelar

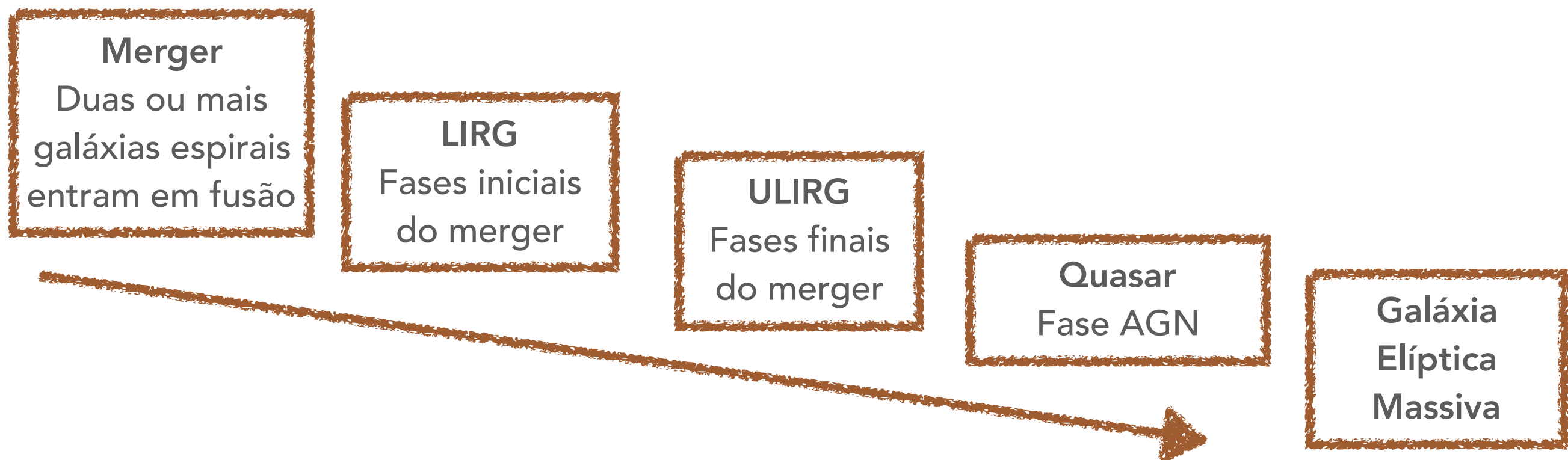


**Figure 9.** The history of cosmic star formation from (top right panel) FUV, (bottom right panel) IR, and (left panel) FUV+IR rest-frame measurements. The data points with symbols are given in Table 1. All UV luminosities have been converted to instantaneous SFR densities using the factor  $\text{FUV} = 1.15 \times 10^{-28}$  (see Equation 10), valid for a Salpeter IMF. FIR luminosities (8-1,000  $\mu\text{m}$ ) have been converted to instantaneous SFRs using the factor  $\text{IR} = 4.5 \times 10^{-44}$  (see Equation 11), also valid for a Salpeter IMF. The solid curve in the three panels plots the best-fit SFRD in Equation 15.

# Outras galáxias luminosas entram em cena

---

- LIRG (Luminous Infrared Galaxy), ULIRG (Ultraluminous ... ), HLIRG (Hyper-Luminous...), ELIRG (Extremely Luminous...)
- Energia parece vir principalmente de intensos starbursts, mas também é encontrada atividade AGN
- Luminosidade bolométrica comparável a de quasares (!)
- Estágios evolutivos do cenário de formação de quasares e elípticas por merger



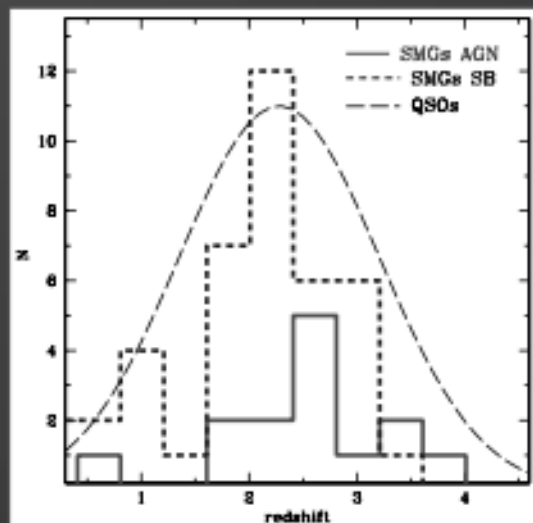
# Galáxias Submilimétricas

(slides de Karin Menéndez-Delmestre, Obs. Valongo)

## Submillimeter Galaxies (SMGs)

– a phase in the formation of massive galaxies

(1)



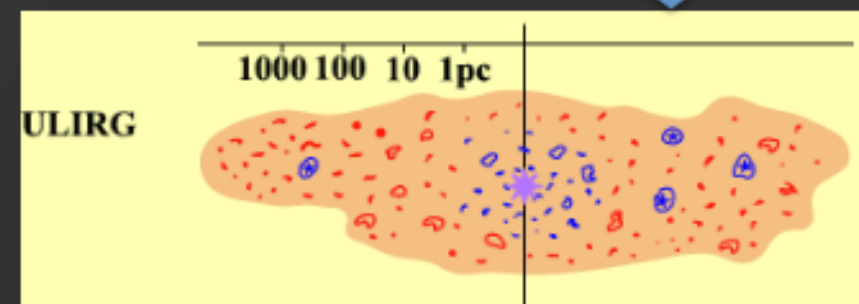
(2) AGN signatures in SMGs

(3) SMGs host young SMBHs

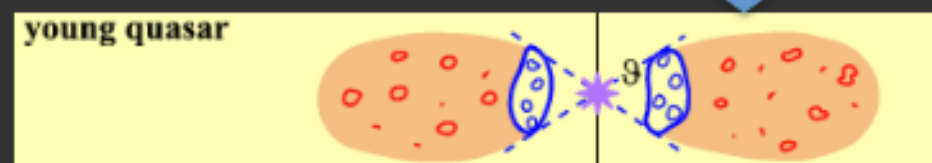
## ULIRG-Quasar Scenario

(Sanders+88)

Merger



young quasar



Haas+03

**submm (SMG) phase:**

ULIRG phase where dusty Starburst and young AGN coexist!

Cornell University Library

We gratefully acknowledge support from the Simons Foundation and member institutions

arXiv.org > astro-ph > arXiv:1410.1751

Search or Article-id (Help | Advanced search)

All papers Go!

Astrophysics > Astrophysics of Galaxies

# The Most Luminous Galaxies Discovered by WISE

Chao-Wei Tsai, Peter Eisenhardt, Jingwen Wu, Daniel Stern, Roberto Assef, Andrew Blain, Carrie Bridge, Dominic Benford, Roc Cutri, Roger Griffith, Thomas Jarrett, Carol Lonsdale, Frank Masci, Leonidas Moustakas, Sara Petty, Jack Sayers, S. Adam Stanford, Edward Wright, Lin Yan, David Leisawitz, Fengchuan Liu, Amy Mainzer, Ian McLean, Deborah Padgett, Michael Skrutskie, Christopher Gelino, Charles Beichman, Stéphanie Juneau

(Submitted on 7 Oct 2014 (v1), last revised 8 Apr 2015 (this version, v2))

We present 20 WISE-selected galaxies with bolometric luminosities  $L_{\text{bol}} > 10^{14} L_{\text{sun}}$ , including five with infrared luminosities  $L_{\text{IR}} = L(\text{rest } 8\text{--}1000 \text{ micron}) > 10^{14} L_{\text{sun}}$ . These "extremely luminous infrared galaxies," or ELIRGs, were discovered using the "W1W2-dropout" selection criteria which requires marginal or non-detections at 3.4 and 4.6 micron (W1 and W2, respectively) but strong detections at 12 and 22 micron in the WISE survey. Their spectral energy distributions are dominated by emission at rest-frame 4–10 micron, suggesting that hot dust with  $T_d \sim 450\text{K}$  is responsible for the high luminosities. These galaxies are likely powered by highly obscured AGNs, and there is no evidence suggesting these systems are beamed or lensed. We compare this WISE-selected sample with 116 optically selected quasars that reach the same  $L_{\text{bol}}$  level, corresponding to the most luminous unobscured quasars in the literature. We find that the rest-frame 5.8 and 7.8 micron luminosities of the WISE-selected ELIRGs can be 30–80% higher than that of the unobscured quasars. The existence of AGNs with  $L_{\text{bol}} > 10^{14} L_{\text{sun}}$  at  $z > 3$  suggests that these supermassive black holes are born with large mass, or have very rapid mass assembly. For black hole seed masses  $\sim 10^3 M_{\text{sun}}$ , either sustained super-Eddington accretion is needed, or the radiative efficiency must be  $< 15\%$ , implying a black hole with slow spin, possibly due to chaotic accretion.

Comments: 17 pages in emulateapj format, including 11 figures and 5 tables. ApJ in press

Subjects: **Astrophysics of Galaxies (astro-ph.GA)**

DOI: [10.1088/0004-637X/805/2/90](https://doi.org/10.1088/0004-637X/805/2/90)

Cite as: **arXiv:1410.1751 [astro-ph.GA]**  
(or **arXiv:1410.1751v2 [astro-ph.GA]** for this version)

**Submission history**

**Download:**

- PDF
- Other formats

Current browse context:

astro-ph.GA

< prev | next >

new | recent | 1410

Change to browse by:

astro-ph

**References & Citations**

- NASA ADS

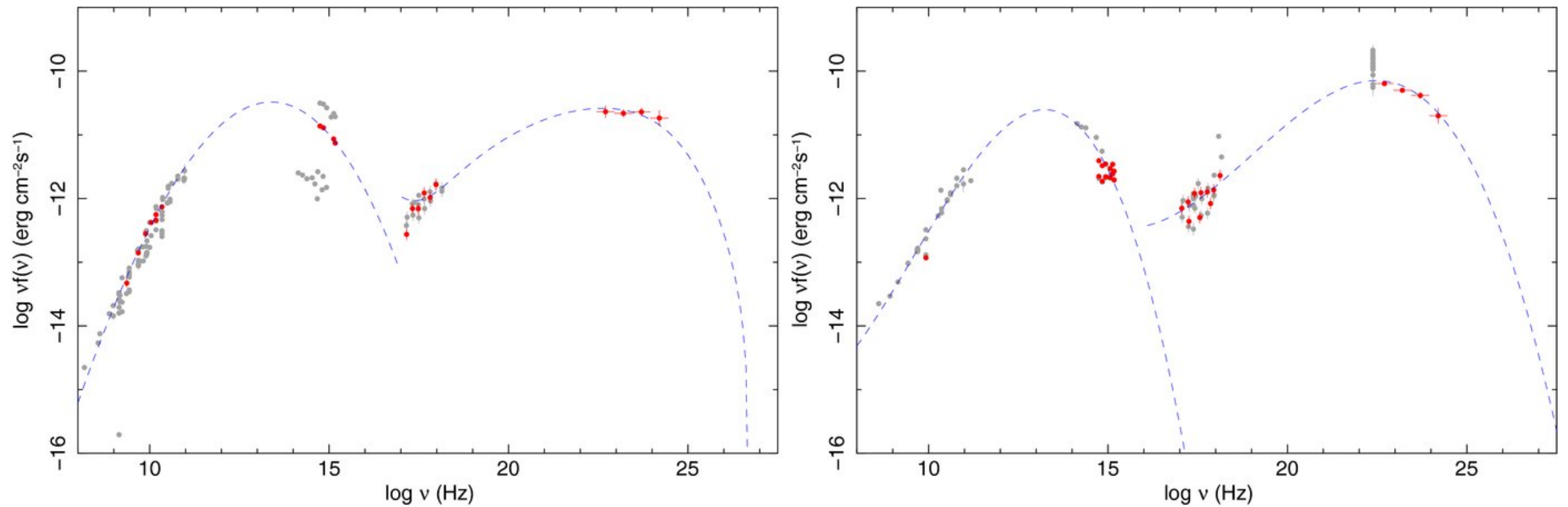
**Bookmark** (what is this?)

**WISE J224607.57-052635.0,  $z \sim 5$**

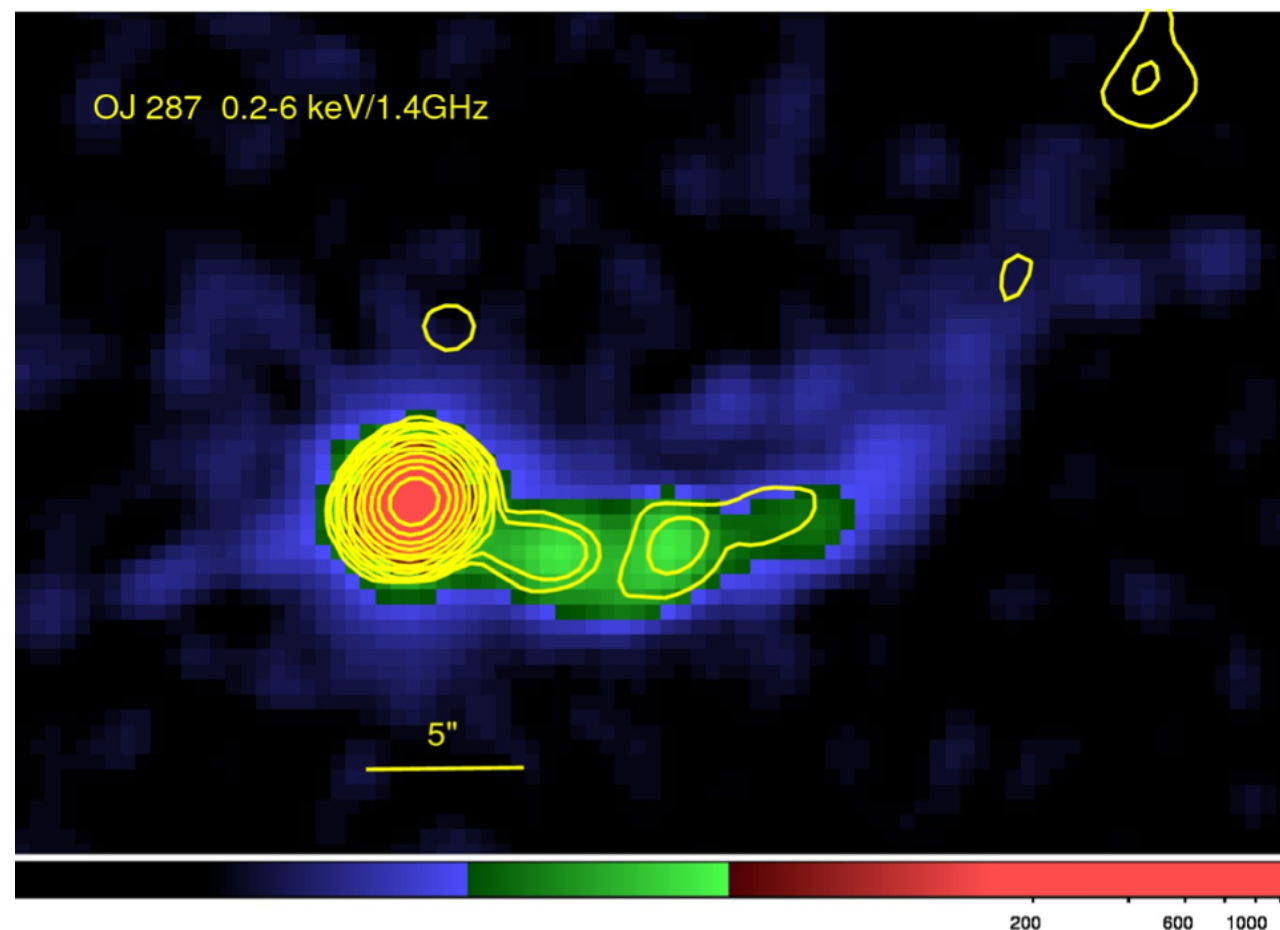
# As fontes mais energéticas do Universo

---

- **Blazares** são provavelmente os objetos mais luminosos do universo, se emitissem isotropicamente sua luminosidade total excederia  $10^{14}L_{\text{sun}}$ . Apresentam alta polarização da luz (alguns % em comparação com  $\sim 1\%$  de quasares normais).
- objetos **BL Lac** são quasares com linhas de emissão muito fracas, mas são a forma mais extrema de AGNs; a variabilidade é muito alta, um foi reportado como tendo dobrado o seu brilho em apenas 3 horas. Mais frequentemente associados a galáxias elípticas.
- quasares com as mesmas características de variabilidade mas linhas de emissão mais forte do que os BL Lac são chamados de "**optically violently variable**" **OVV**



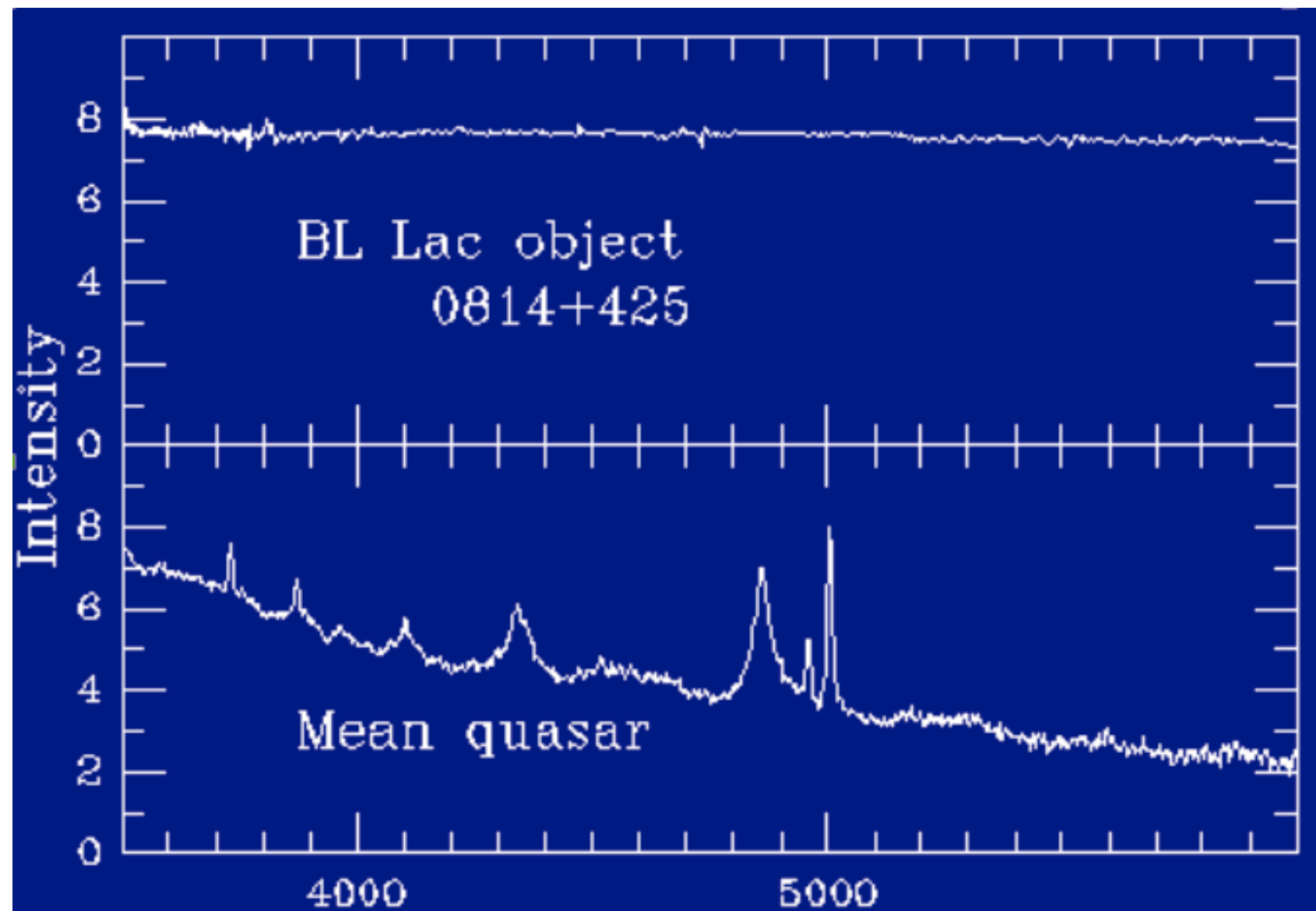
SED of 0FGL J0137.1+4751 = S40133+47 (left) and of 0FGL J0210.8 – 5100 = PKS0208-512 (right).  
Abdo et al. (2010)



X-ray image from the Chandra X-ray  
Observatory; contours: 1.4 GHz radio  
image from the Very Large Array.  
<http://www.bu.edu/blazars/>

# Blazares

---



# Blazares

---

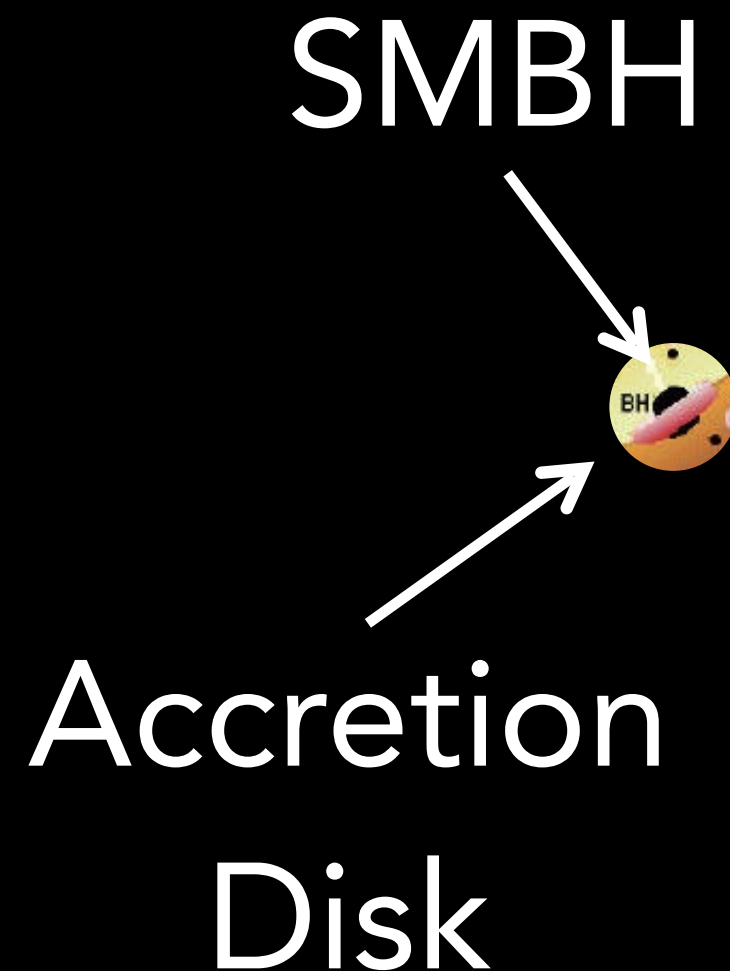
- Sempre tem uma forte emissão rádio vinda de um core compacto
- Em quasares, a luz visível é polarizada em alguns %, indicando que parte do fluxo é radiação síncroton do jato; em blazares a polarização pode ser tão alta quanto 20% = muito mais radiação está vindo do jato
- **Provavelmente são rádio-galáxias onde olhamos diretamente para o jato**
- Os movimentos relativísticos fazem o jato parecer tão brilhante a ponto de obscurecer o disco de acreção e regiões de linha de emissão
- **Microquasares:** uma estrela massiva transfere massa para um BN ou estrela de nêutron; são fontes intensas de raios-X e cerca de 10% são radio-loud; tem jatos com ângulos de abertura menores de 10 graus, e pelo menos uma dúzia desses microquasares tem movimento superluminal

# **Modelo unificado de AGNs**

Todas as AGN tem  
o mesmo “motor”  
central

---

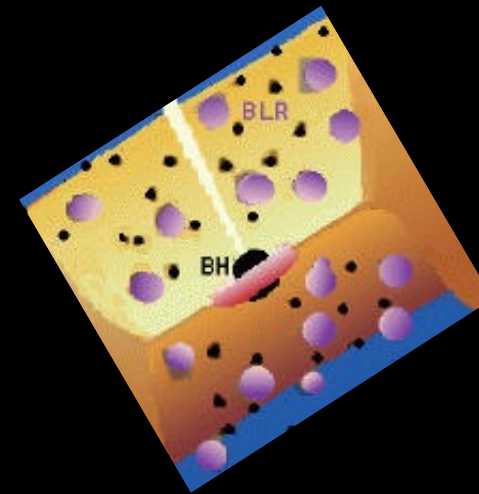
- ◆ BN supermassivo +  
disco de acreção



**Gás na BLR é aquecido por fótons UV e emite linhas ópticas largas**

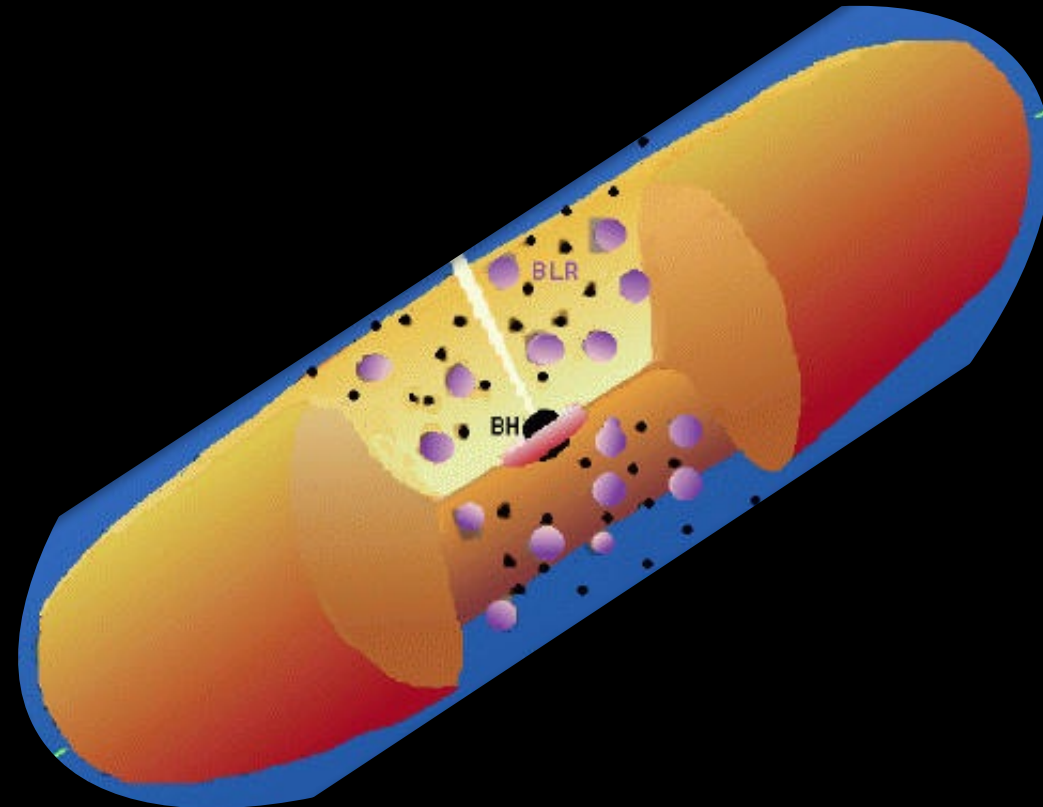
---

- ♦ BN supermassivo mais disco de acreção
- ♦ Nuvens de gás quente, denso e de alta velocidade próximo ao BN formam a “Broad Line Region” (BLR)



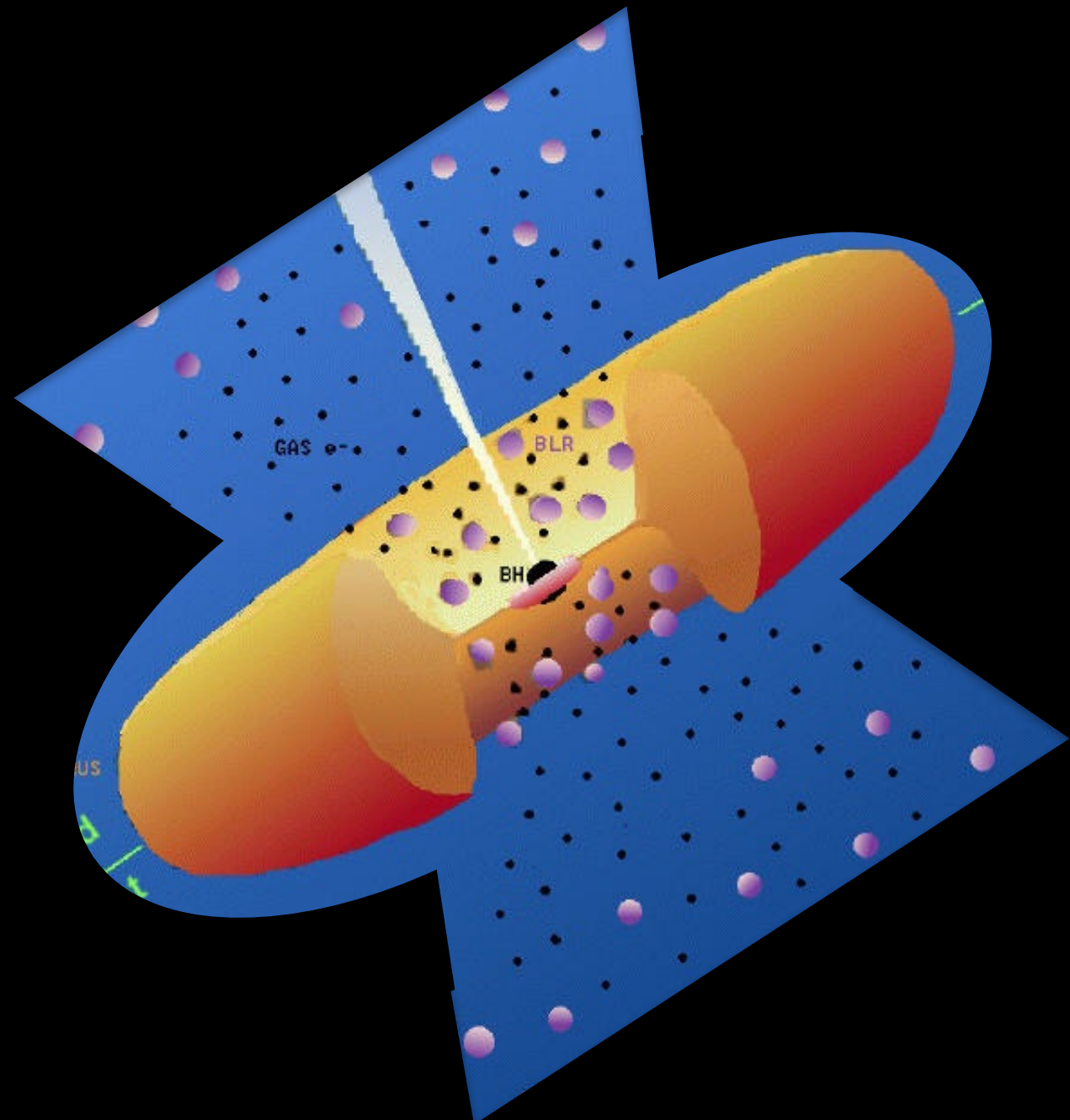
## Gás e poeira do toro podem obscurecer as regiões centrais da AGN

- ◆ BN supermassivo mais disco de acreção
- ◆ Nuvens de gás quente, denso e de alta velocidade próximo ao BN formam a "Broad Line Region" (BLR)
- ◆ Toro de poeira circunda o BN e a BLR



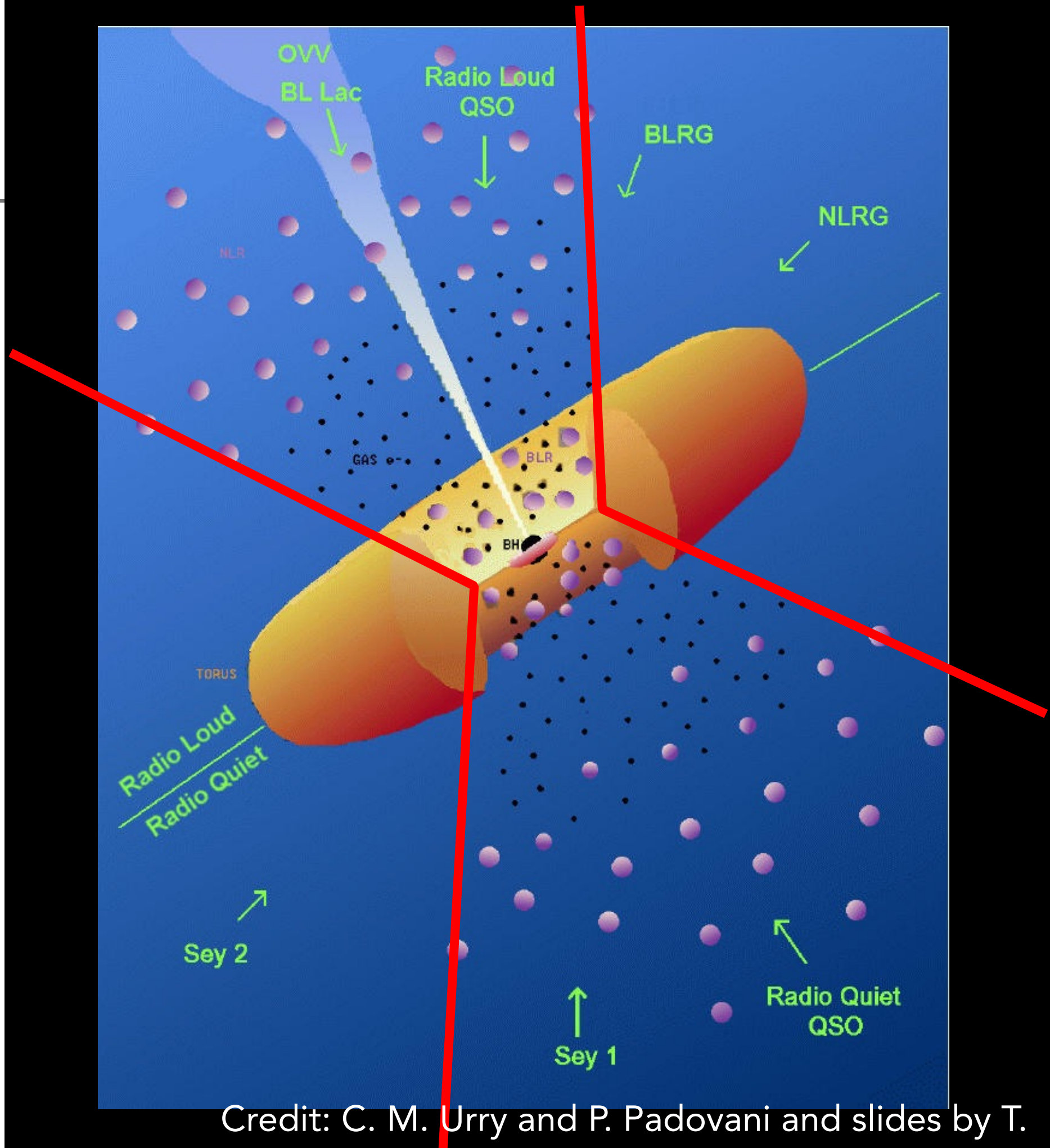
## Elétrons energéticos fora do toro e BLR espalham a emissão nuclear

- ◆ BN supermassivo mais disco de acreção
- ◆ Nuvens de gás quente, denso e de alta velocidade próximo ao BN formam a "Broad Line Region" (BLR)
- ◆ Toro de poeira circunda o BN e a BLR
- ◆ Elétrons energéticos espalham contínuo polarizado + emissão da BLR

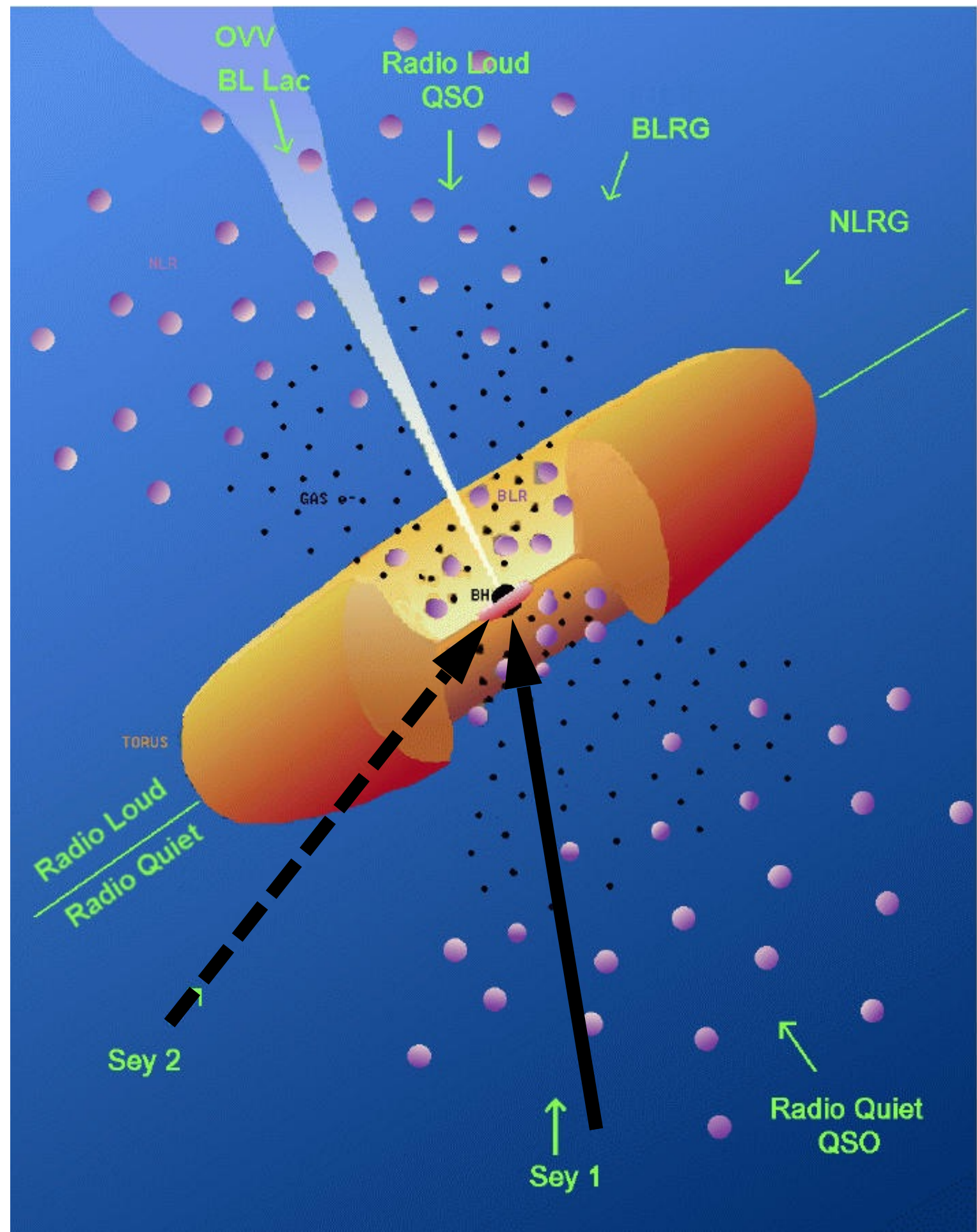


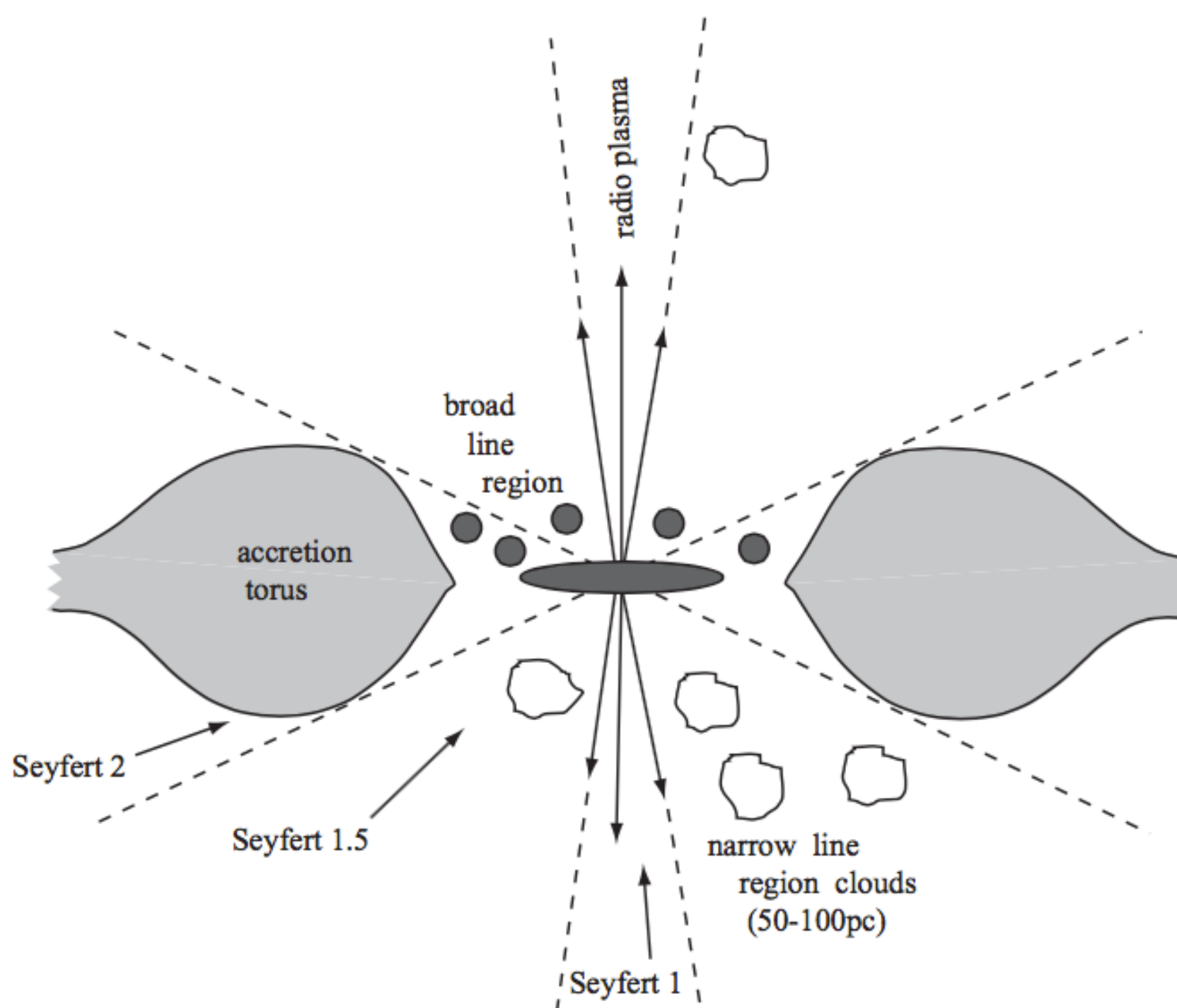
# Linhas estreitas se formam de gás dentro de cones de ionização

- ◆ BN supermassivo mais disco de acreção
- ◆ Nuvens de gás quente, denso e de alta velocidade próximo ao BN formam a "Broad Line Region" (BLR)
- ◆ Toro de poeira circunda o BN e a BLR
- ◆ Elétrons energéticos espalham contínuo polarizado + emissão da BLR
- ◆ Nuvens de gás frio, de baixa densidade e baixa velocidade nos limites exteriores do torus formam a Narrow-Line Region (NLR)

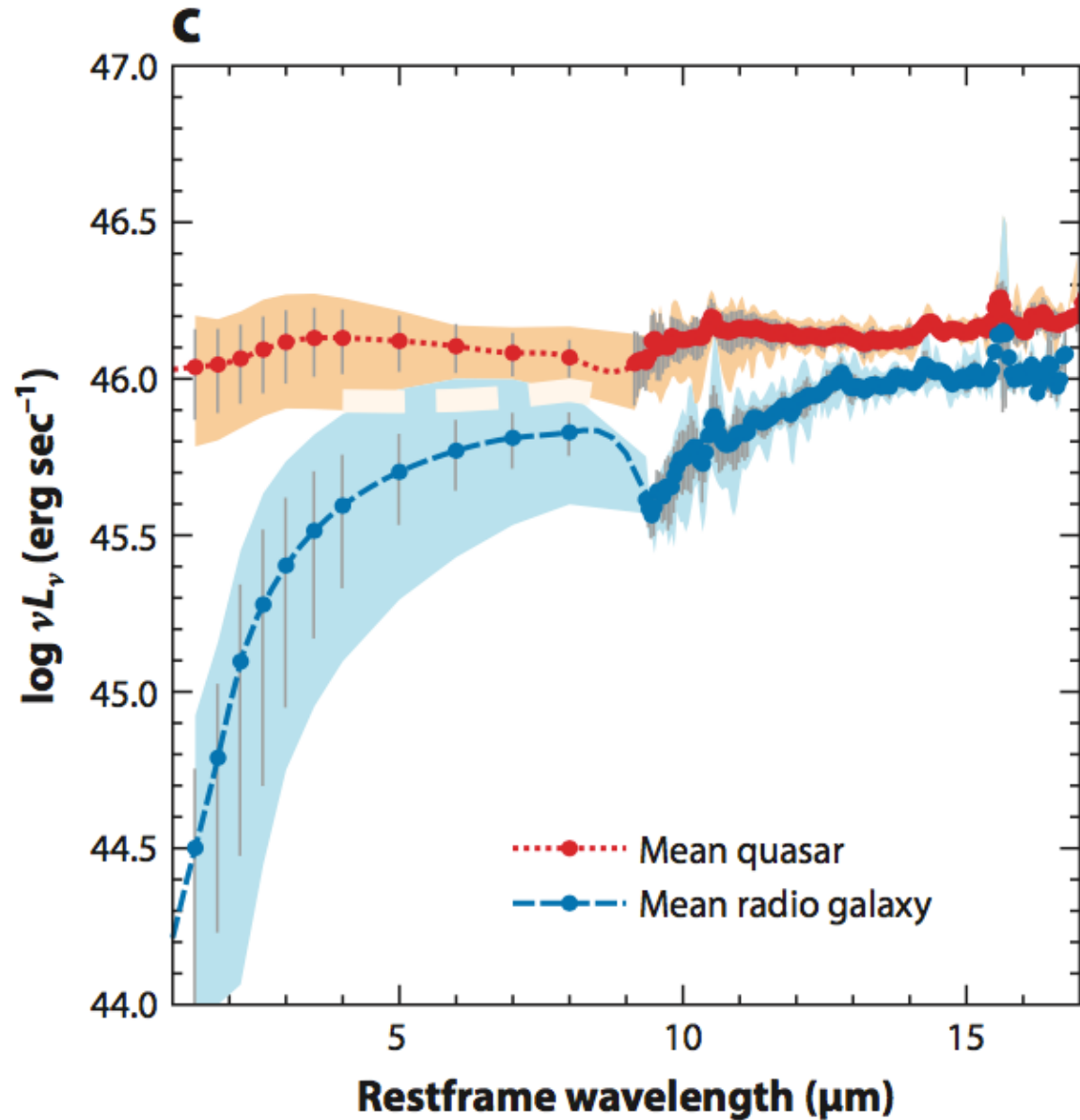
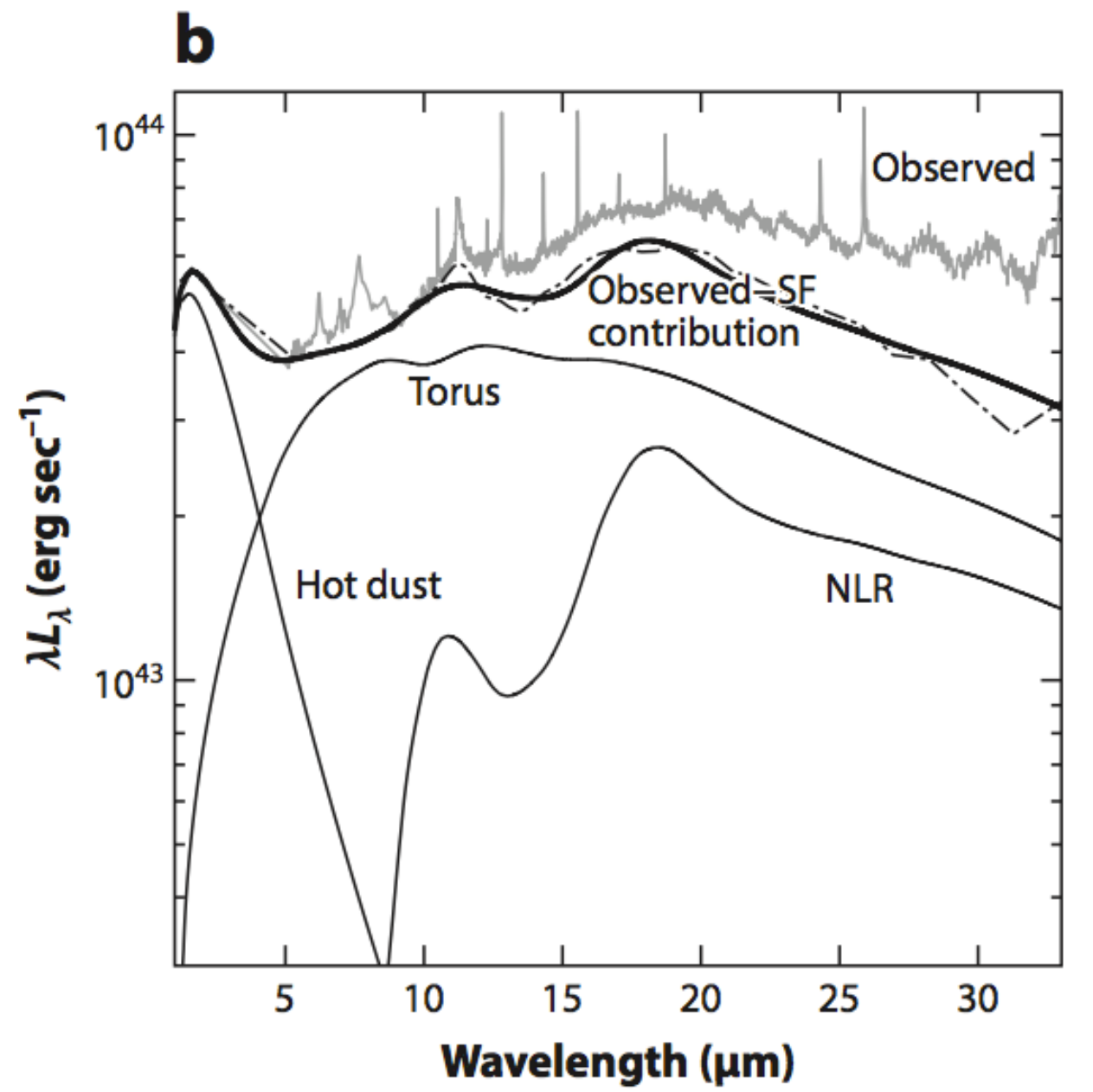
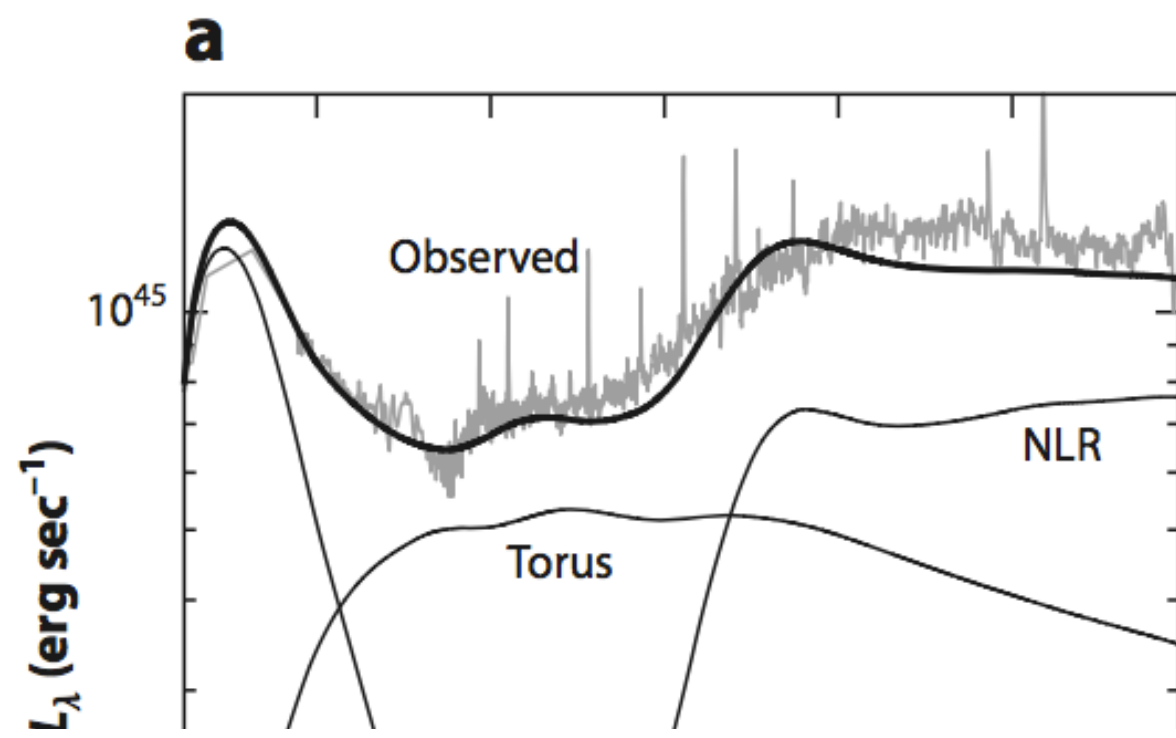


Cuidado com o desenho!  
Não existe jato sozinho.  
Se um jato se formar  
sempre haverá um contra-  
jato (que nem sempre é  
visto)





**Fig. 9.3.** A simple model for an active nucleus. Energetic twin jets emerge at near-light speeds along the spin axis of the central accretion disk. Radiation from the disk and jet photoionizes the dense fast-moving clouds of the broad-line region, which is often  $\lesssim 1$  pc across. The more diffuse and slower-moving gas of the narrow-line region is at larger radii. Observers looking directly down the jet would see a brilliant Seyfert 1 nucleus; but when it is viewed sideways, through the opaque accretion torus (gray), we have a Seyfert 2 galaxy.



(a,b) Observed (gray) and SF-contribution-subtracted (dot-dashed line) SEDs of two type-I AGNs. The diagrams show the three components used in the fit: hot pure graphite dust, a clumpy torus model with ISM-type dust, and dust emission from the NLR. The thick black curve is the sum of the three components. Adapted from Mor & Netzer (2012) with permission. (c) Composite type-I (quasars) and type-II (radio galaxies) SEDs of  $z \sim 1.2$  steep spectrum radio-loud AGNs, illustrating the large spectral differences between the two groups. Reprinted from Hönig et al. (2011) with permission. Abbreviations: ISM, interstellar medium; NLR, narrow-line region; SED, spectral energy distribution; SF, star forming.

### 1.3. Unification Schemes

Unification scheme usually refers to two different categories: IR-optical-UV-X-ray unification and radio unification. The first category involves a central dusty torus and can explain the major differences between type-I and type-II AGNs with a surprisingly small number of assumptions. It was first suggested in the late 1980s. The second category combines the torus with a relativistic jet observed in approximately 10% of all high-ionization AGNs. The jet is launched in the vicinity of the BH and is aligned with the symmetry axis of the system. Radio unification can be used to make specific predictions about the observed properties of compact and extended radio-loud AGNs. Radio unification is not covered in this review, but the reader is referred to Urry (2003) and Tadhunter (2008) for references on this topic. LINERs were not included in the first unification schemes.

Recent observations of larger samples of AGNs, and more detailed information about specific sources, lead to the conclusion that the old unification scheme requires three major modifications. The first modification relates to the physics and structure of the central obscurer. The second modification realizes that there are real differences between various subgroups, beyond the dependence on luminosity and torus inclination. These differences can be due to the nature of the central powerhouse (e.g., a RIAF instead of high-efficiency accretion flow) and to the fact that some AGNs lack one or more of the main components, e.g., a BLR or a NLR. The third modification relates to BH and galaxy evolution. This review focuses on these modifications.

## SUMMARY: PRESENT AND FUTURE UNIFICATION

The unification scheme presented in this review is different from and similar to the scheme presented in the late 1980s, which had three fundamental pillars: orientation, covering factor, and luminosity. The field is driven by courageous attempts to construct simple models for complex situations, and attempts to understand several selection effects typical of large samples. The most important developments of the last decade or so are summarized as follows.

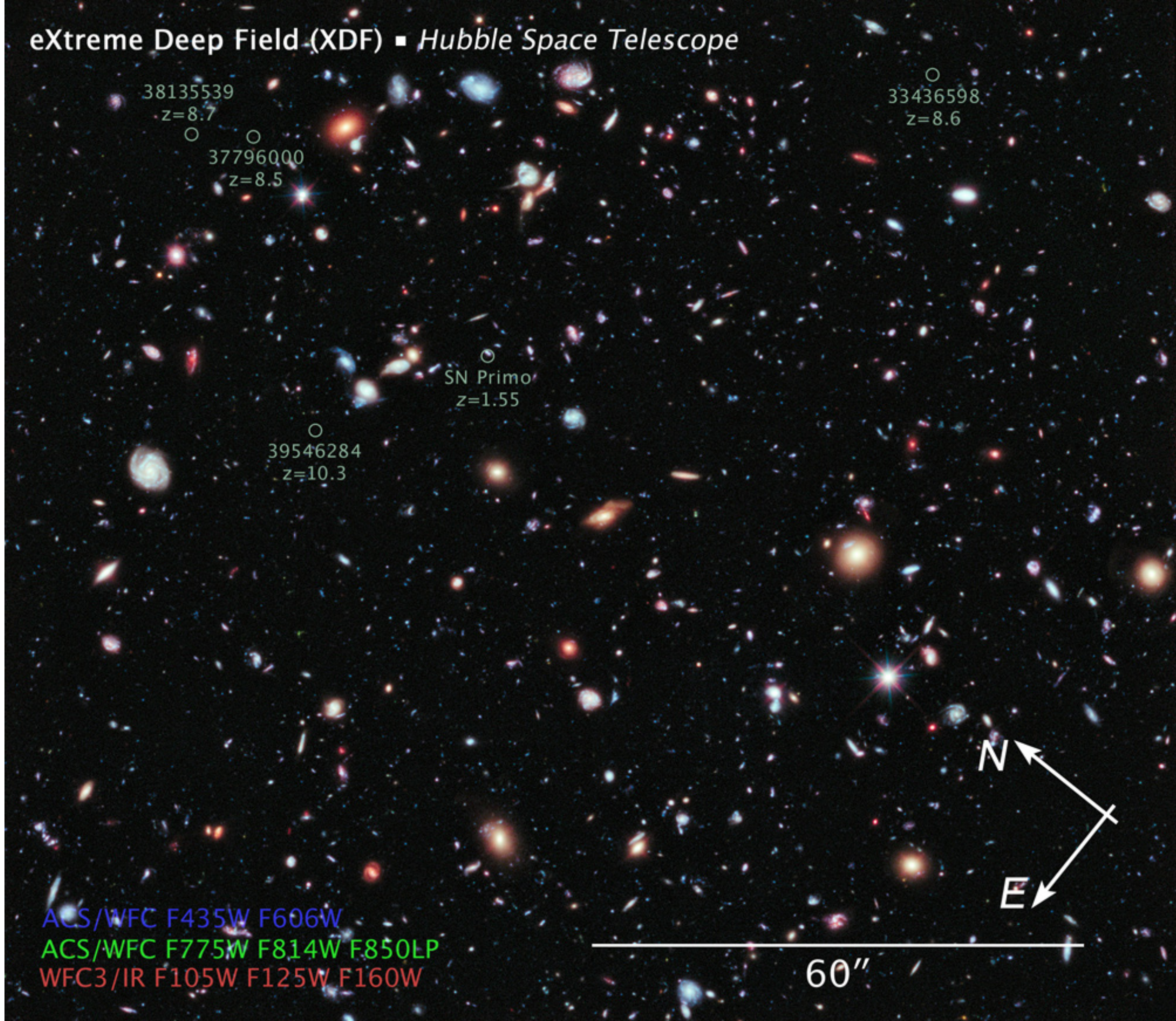
- “Most AGN tori are probably axi-symmetric and clumpy...”
- “...merging systems likely behave in a way different from that of AGNs in secularly evolving hosts...”

Returning to the central theme of unification, it is clear that the old scheme requires several major revisions. More important revisions include the recognition that there is a large range of covering factors for a given luminosity, the realization that X-ray absorption can be caused by two or possibly more components, and the identification of several subgroups of AGNs that do not belong in this scheme in the first place. A revised scheme would require better methods to isolate and remove cases in which obscuration has nothing to do with the nucleus, and improved X-ray techniques to clarify the importance of X-ray absorption by dust-free gas. Perhaps the most crucial aspect, which is observationally challenging, is the separation of torus absorption from the presence of broad emission lines. Putting the absorption of the nonstellar continuum in the center of the scheme and minimizing the use of broad emission lines as a major characteristics are good ways to proceed.

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2012/37/fastfacts/>

Tempo de exposição: 22,5 dias

## eXtreme Deep Field (XDF) ■ *Hubble Space Telescope*



ACS/WFC F435W F606W  
ACS/WFC F775W F814W F850LP  
WFC3/IR F105W F125W F160W