

AGN - Active Galactic Nucleus

Aspectos observacionais

Livro texto, cap. 9

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

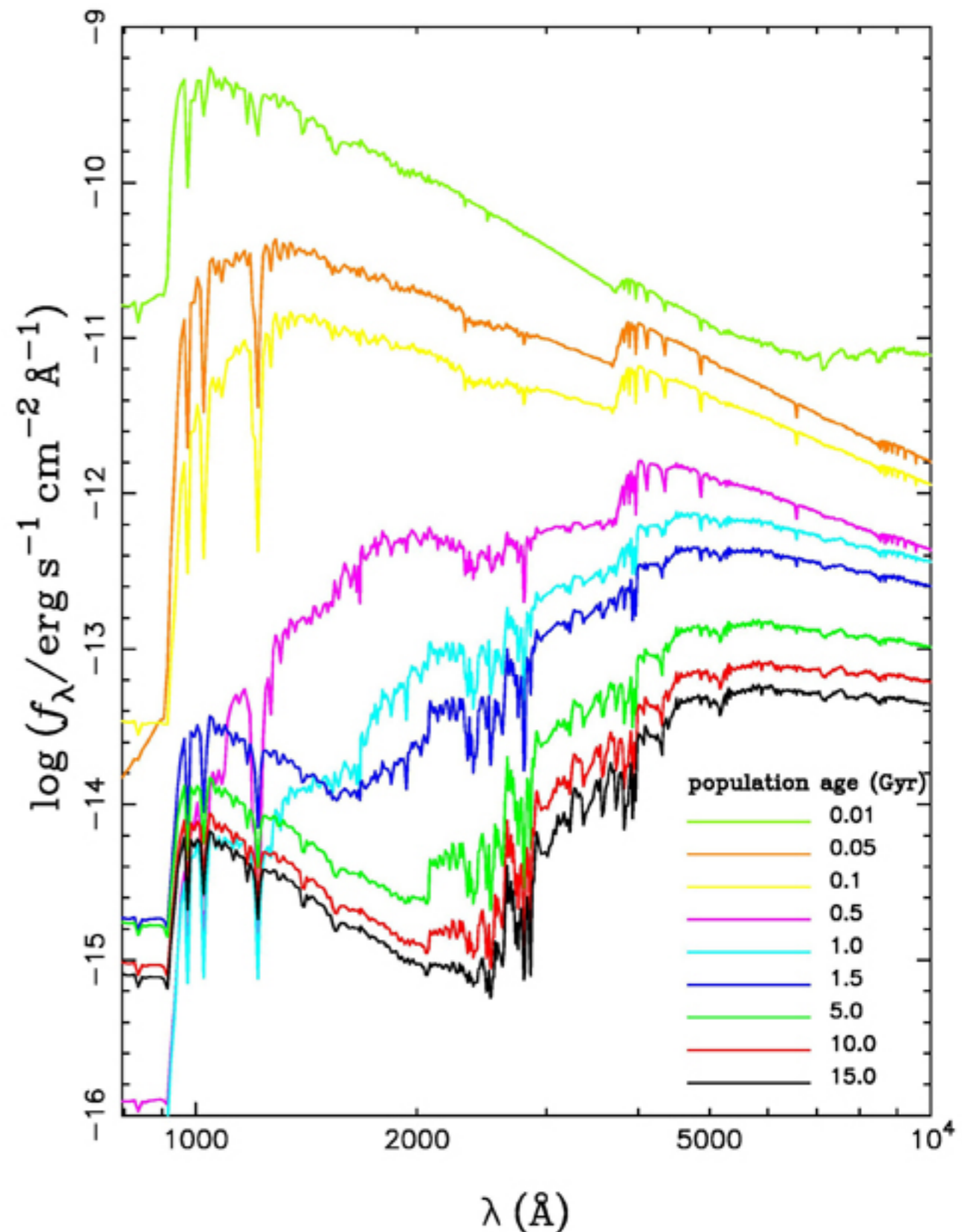
H. Netzer, 2015, Annu. Rev. Astron. Astrophys. 53:365–408

SED de galáxias normais

- SED = spectral energy distributions
- Galáxias "normais": galáxias onde a emissão é dominada por estrelas => predominantemente radiação térmica, somatória dos corpos negros de temperatura entre ~3000 e 40.000K
- A maior parte da emissão está confinada entre 4000Å e 20μm.
- Emissão estende para o UV e IV se há starburst e poeira

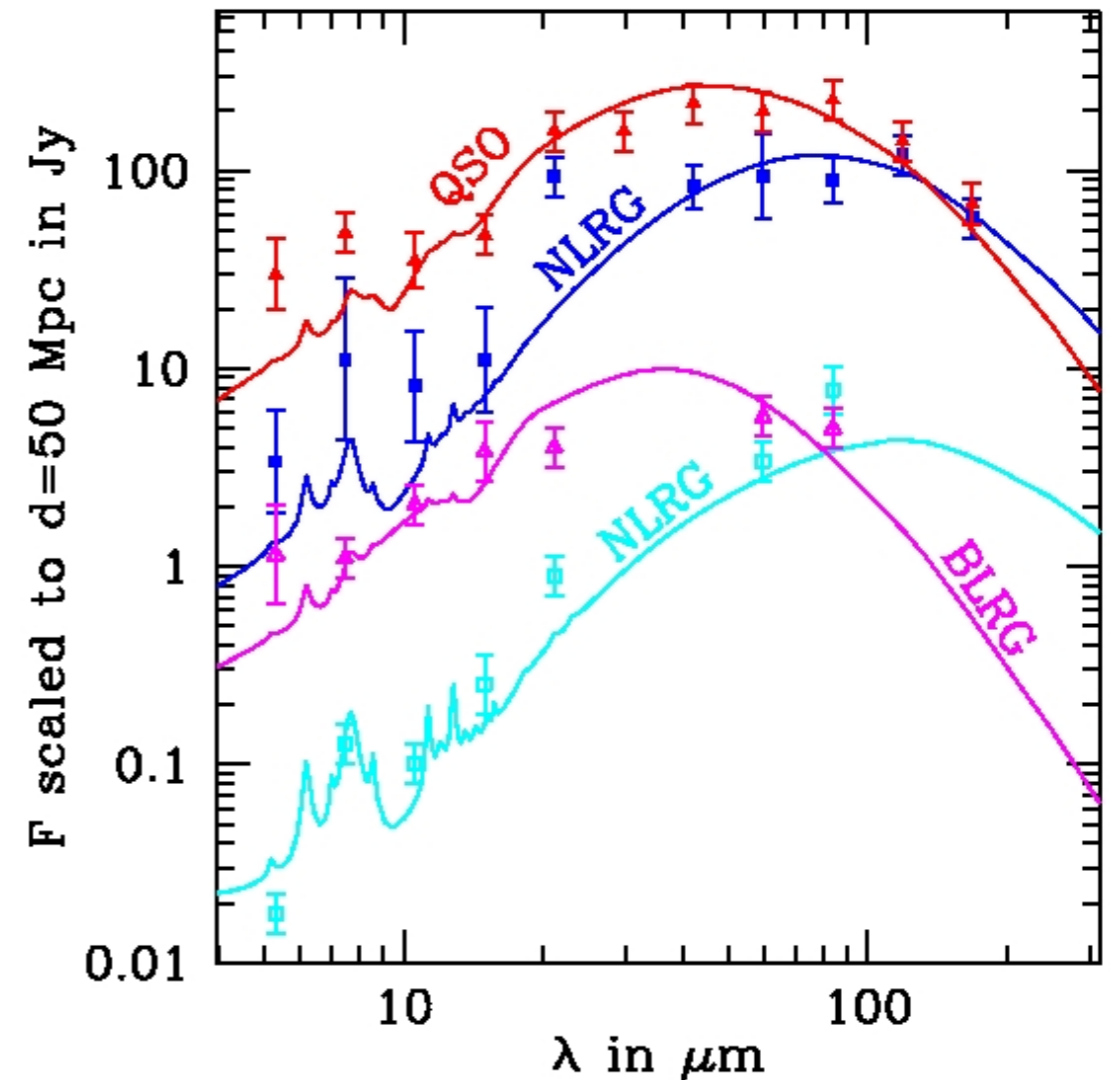
The evolution of spectral energy distribution (SED) of elliptical galaxies. The far-UV part is dominated by hot subdwarf stars from binary interactions when the age is larger than 1 Gyr (Han et al., 2007, MNRAS, 380, 1098).

<http://www1.ynao.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 ~10.000km/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 [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

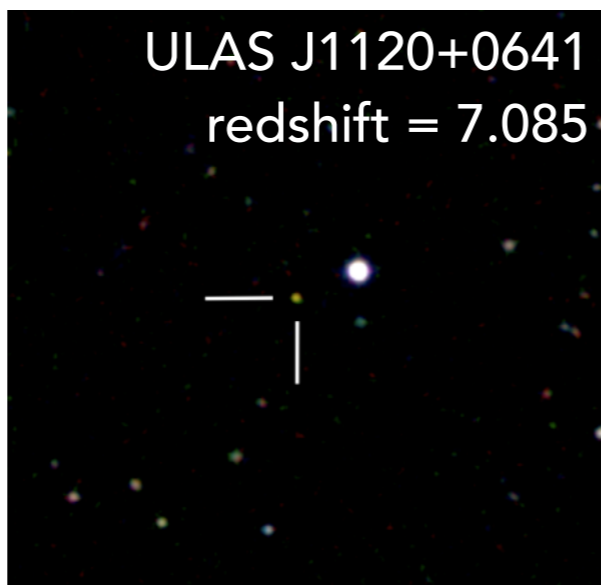
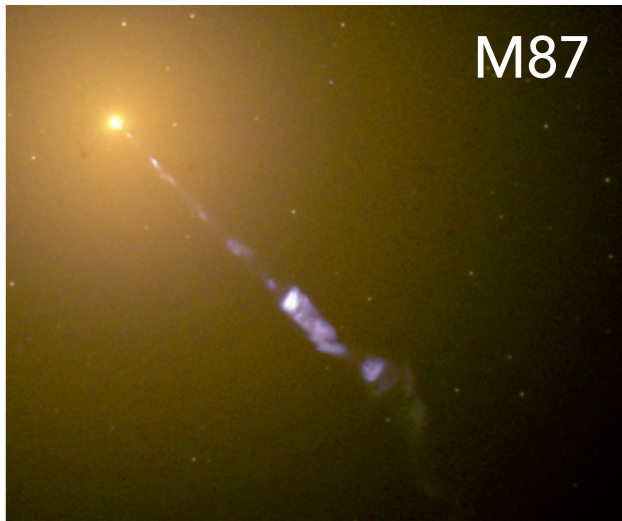
Rádio Galáxias

Quasares

OVV's (optically violent variable quasar)

BL Lac

Radio-loud



LINER

Seyfert 2

Seyfert 1

QSOs

Rádio Galáxias

Quasares

OVV's (optically violent variable quasar)

BL Lac

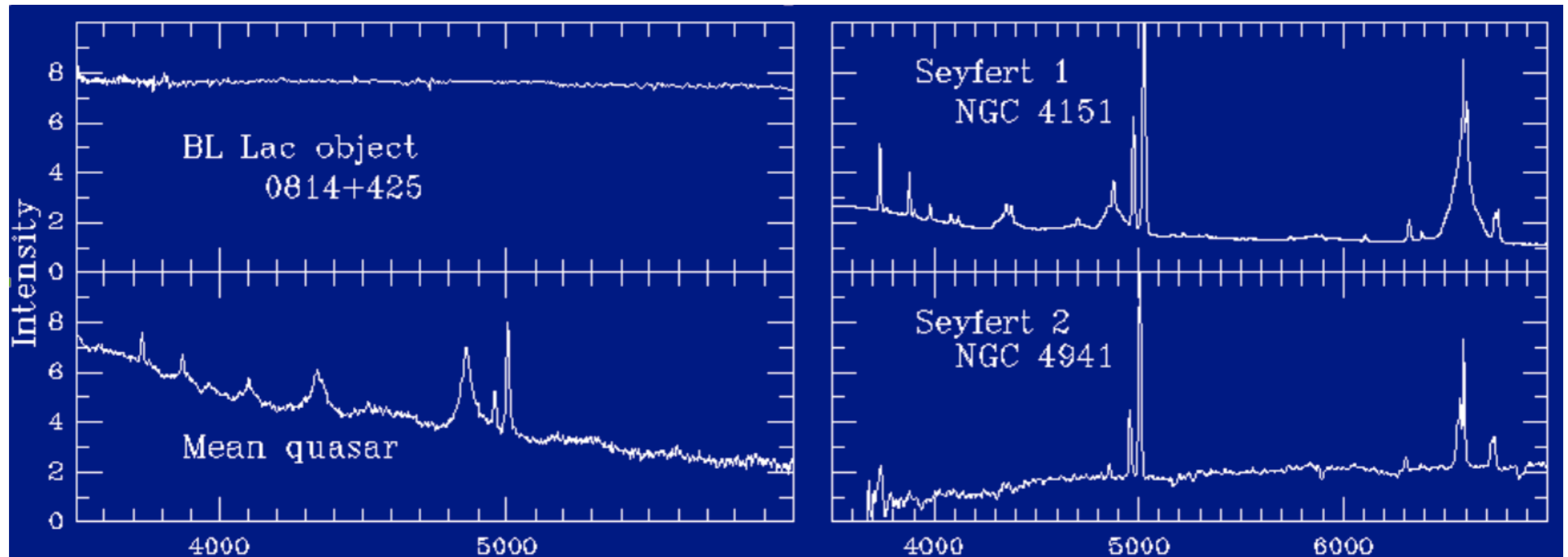
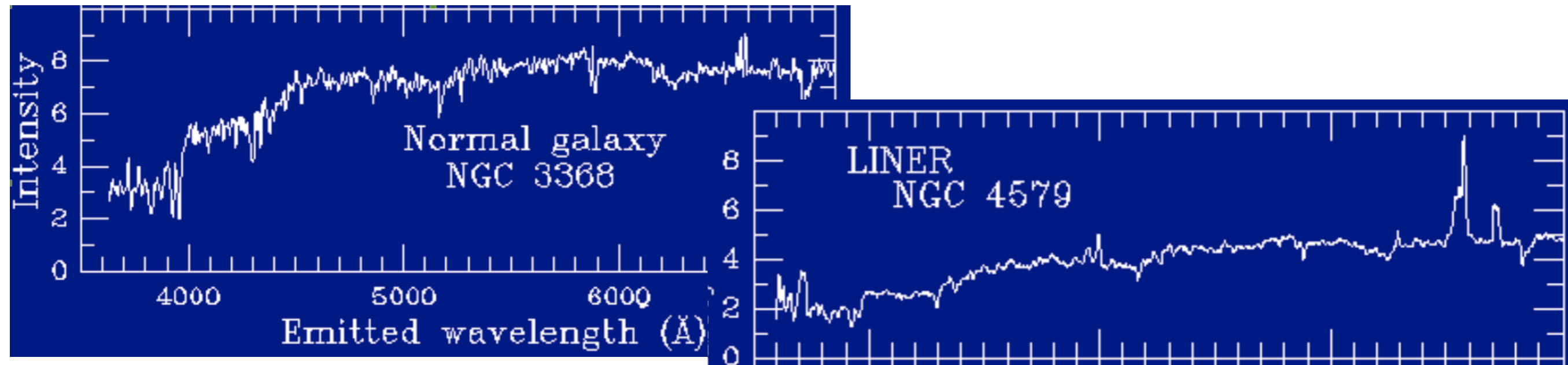
M104

M87

ESO 97-G13

ULAS J1120+0641
redshift = 7.085

Propriedades das linhas de emissão



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

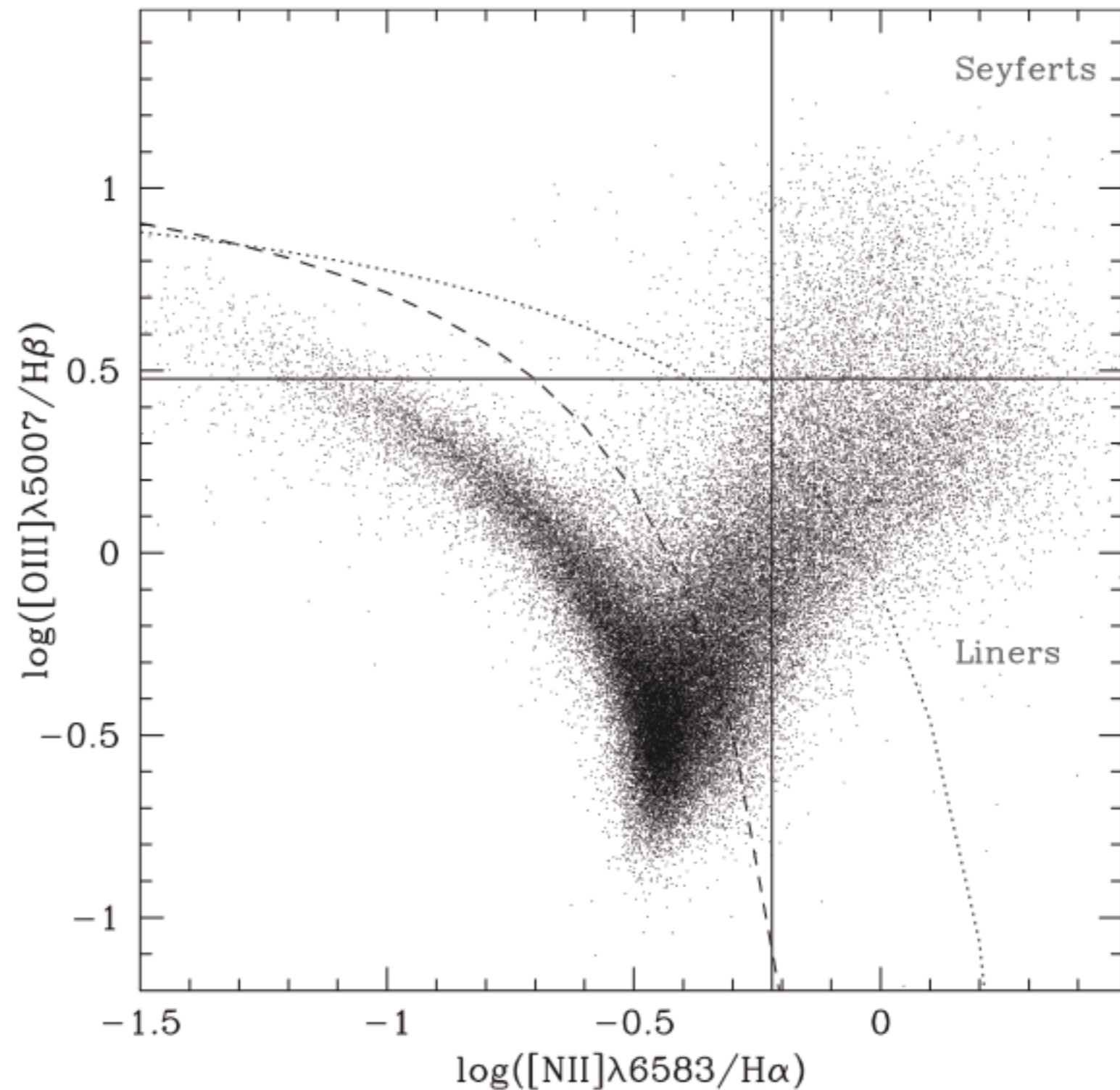


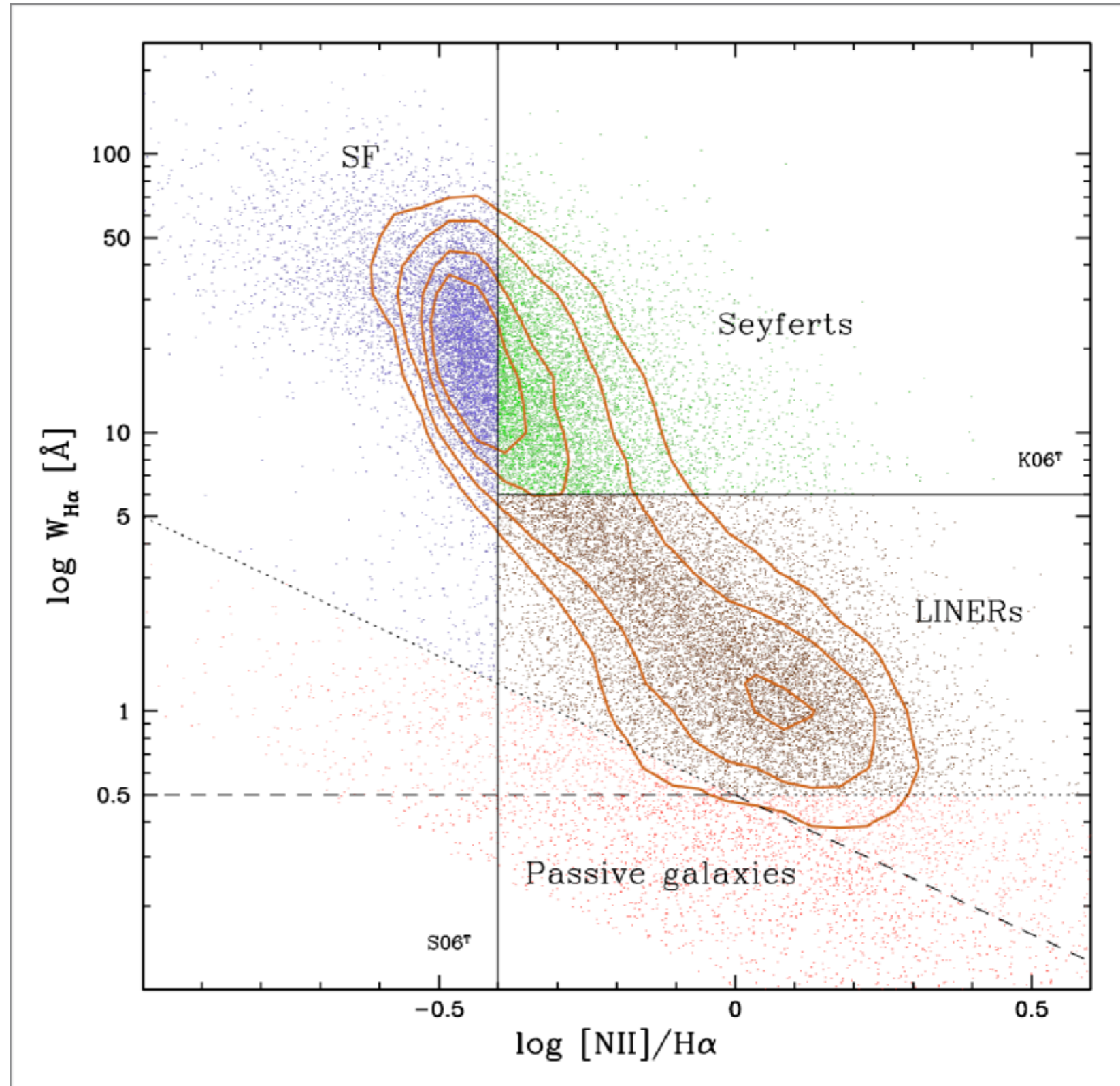
Fig. 14.6. The emission-line flux ratio $[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta$ versus the ratio $[\text{NII}]\lambda 6583/\text{H}\alpha$ for a galaxy sample constructed from the SDSS. A diagram of emission-line ratios like this is often called a BPT diagram, after Baldwin et al. (1981) who demonstrated 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?

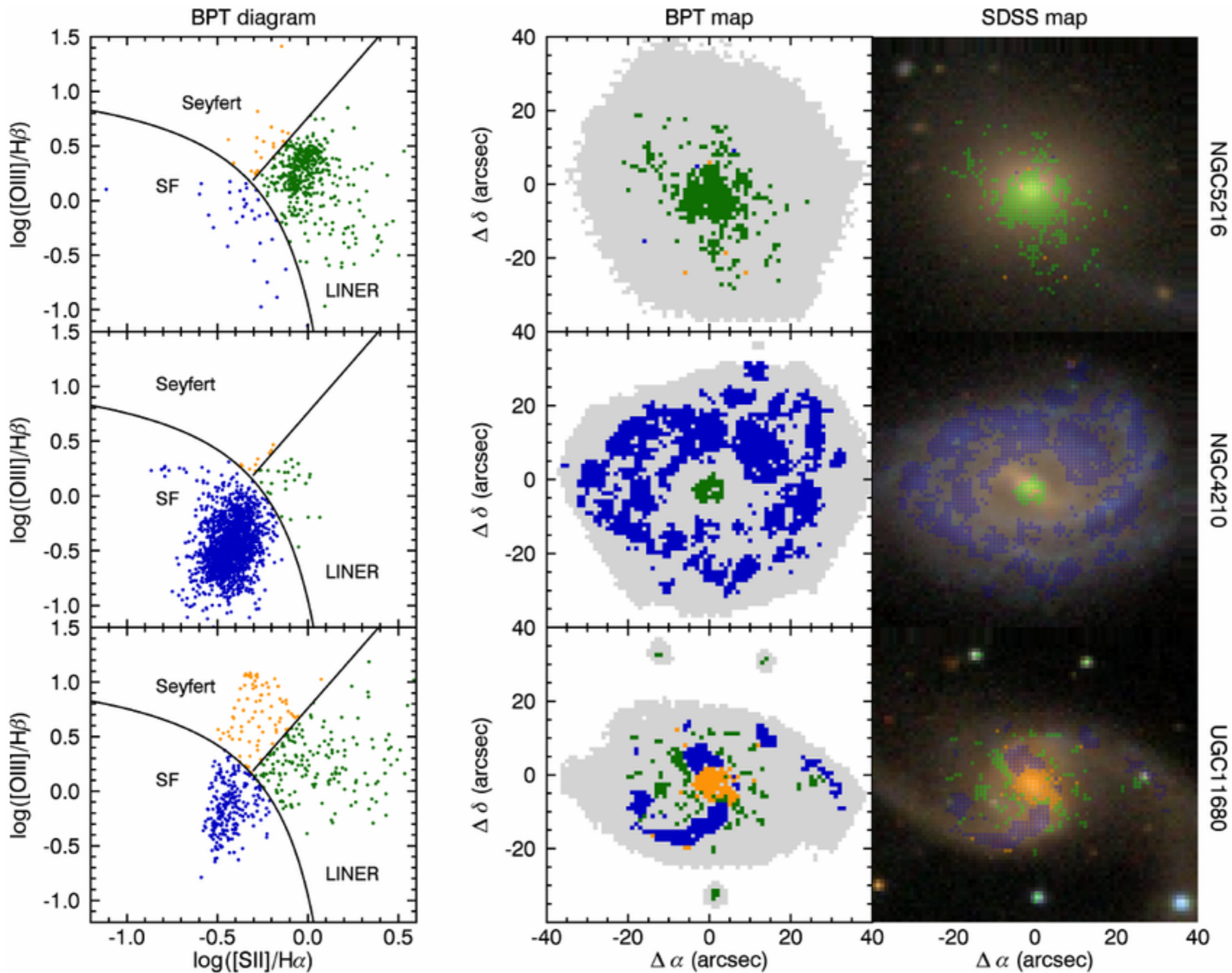
Diagrama WHAN (Cid Fernandes et al. 2010; Cid Fernandes et al. 2011)

LIERs (AGN falsa)
HOLMES (hot low-mass evolved stars)

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."



Olhado com IFUs



Singh et al. (2013)

Características gerais de cada tipo

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 (LIERS).

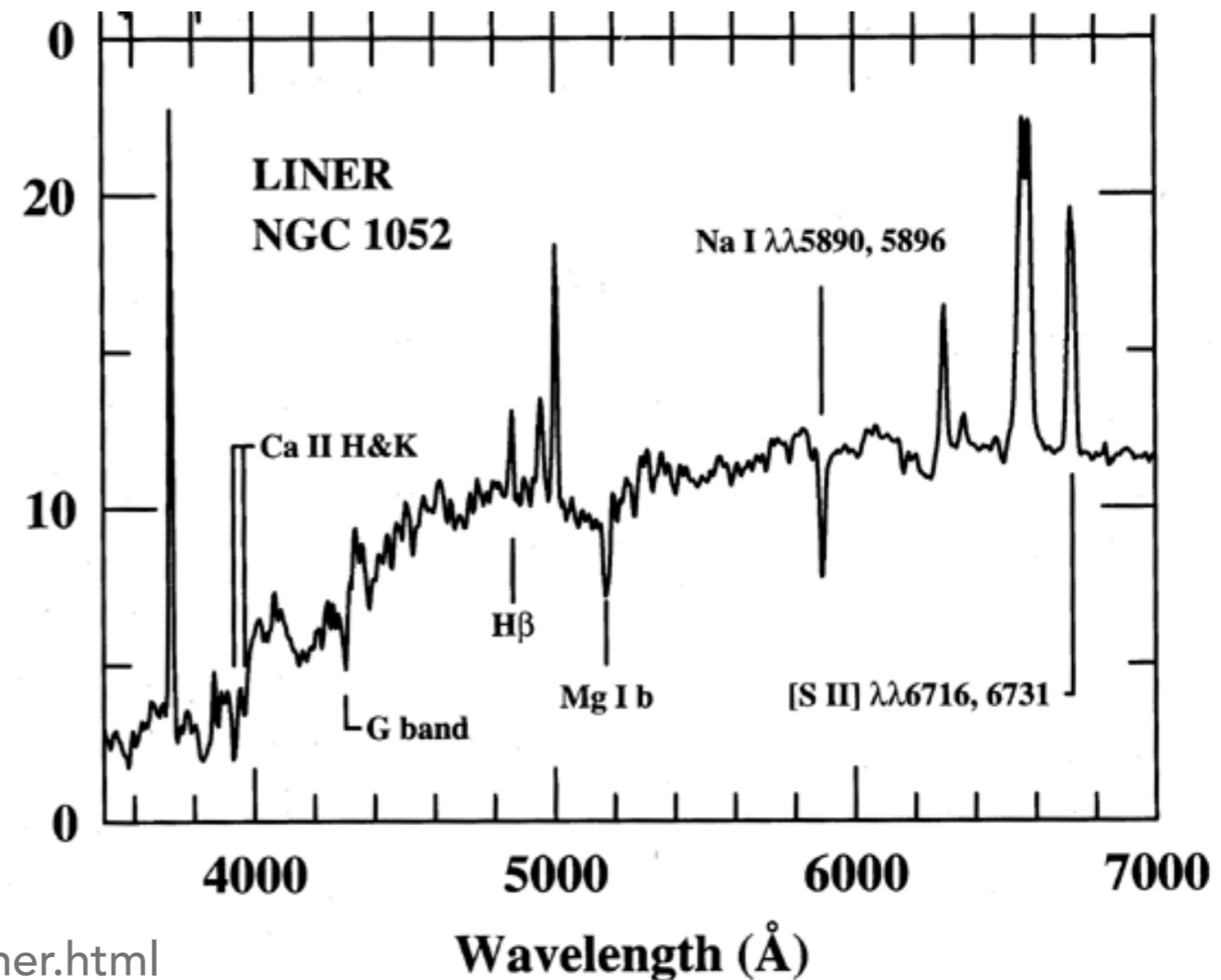


Sombrero (M104)

<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 ($\text{ergs s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$).



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

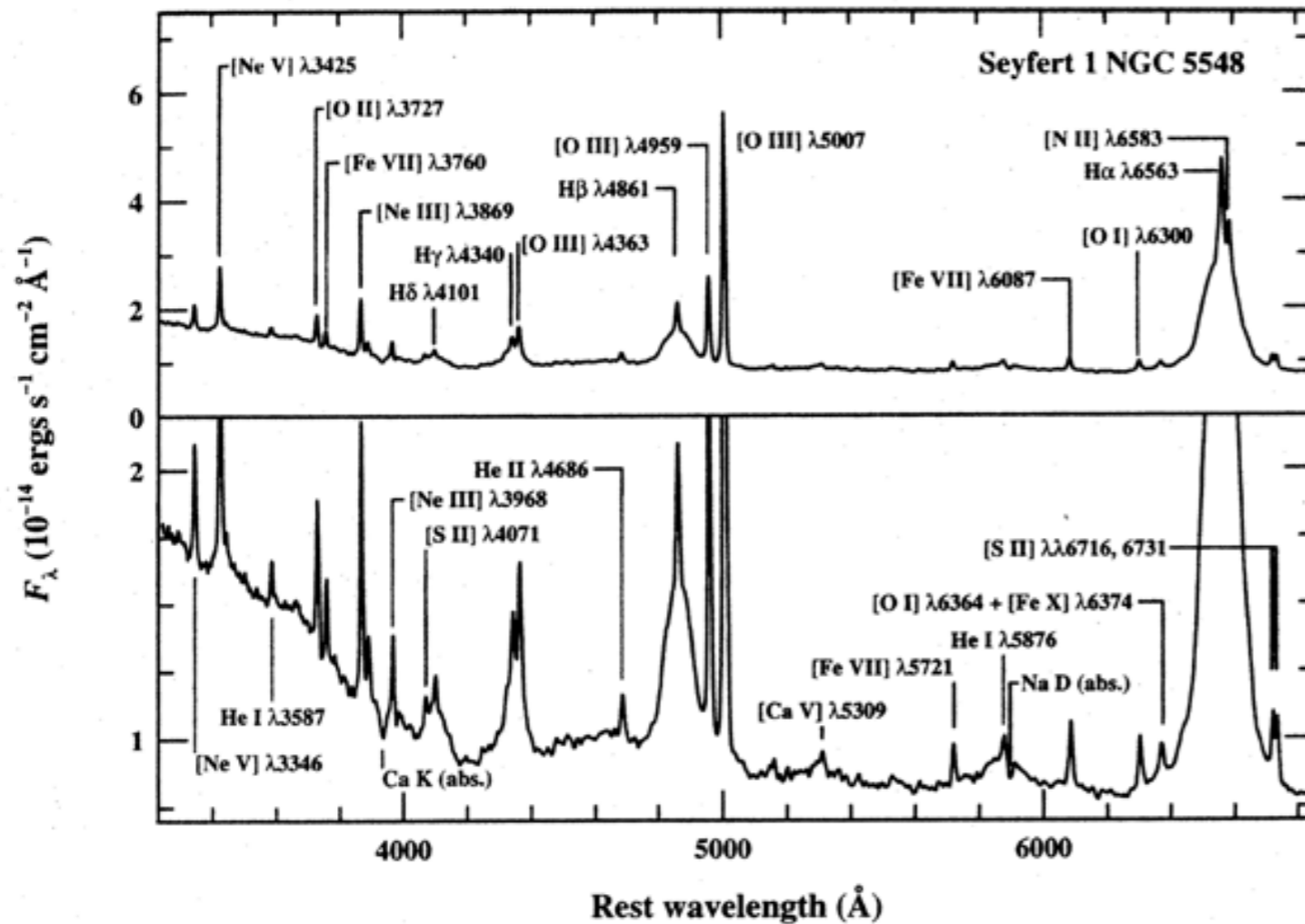
Galaxy NGC 7742



Hubble
Heritage

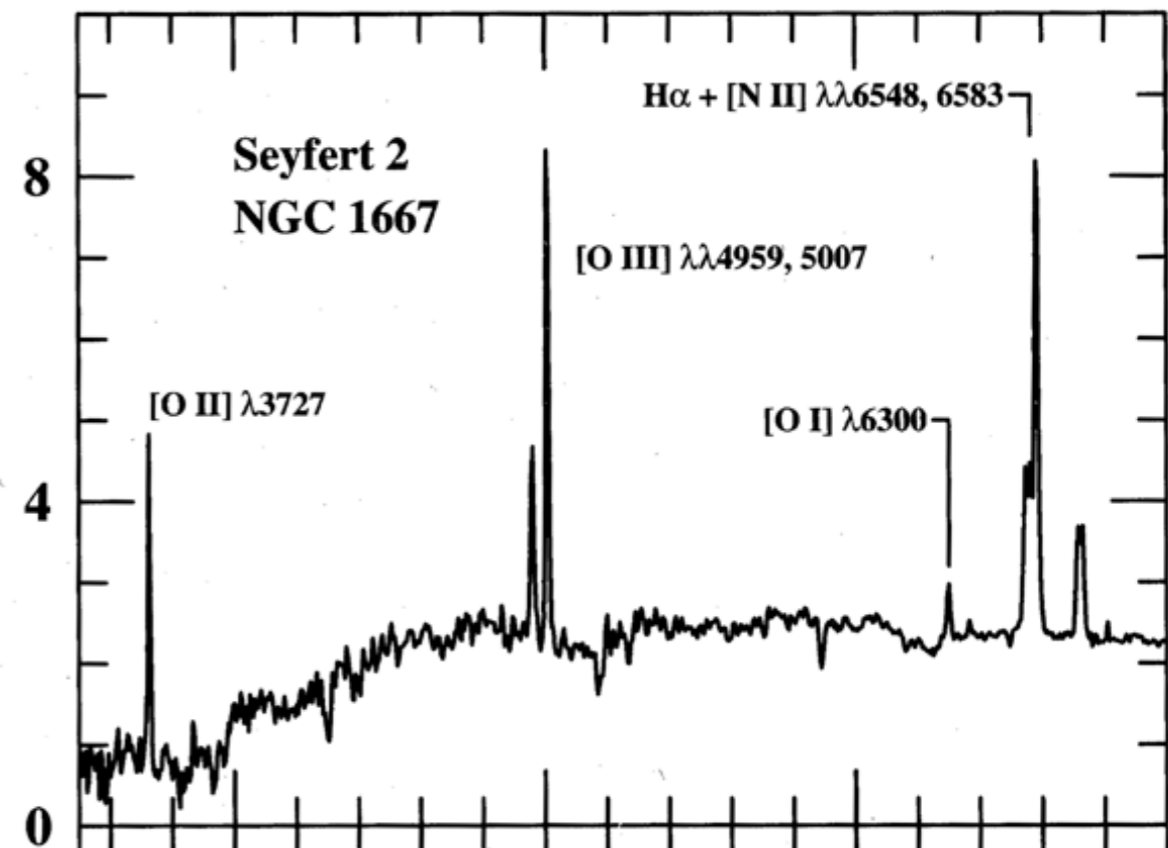
PRC98-28 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team

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 (\AA) for the x-axis and F (ergs s^{-1} cm^{-2} \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 $km s^{-1}$, and the width of the narrow components is about 400 $km s^{-1}$. The strong rise shortward of 4000 \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.



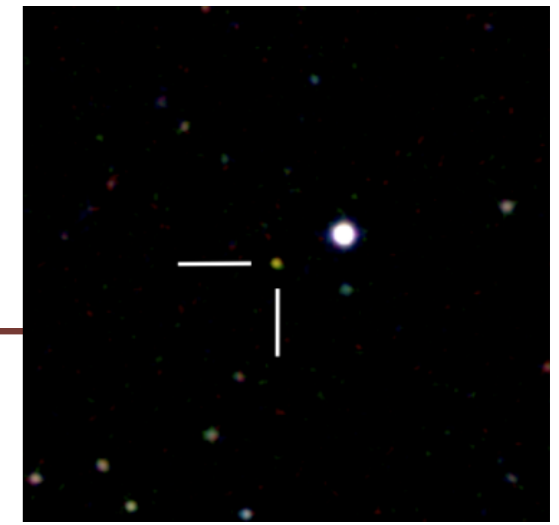
Rádio galáxias

- Galáxias com potência em 1.4GHz maiores do que $2 \times 10^{23} \text{WHz}^{-1}$, $10^2 - 10^3$ x 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]

Quasares e QSO

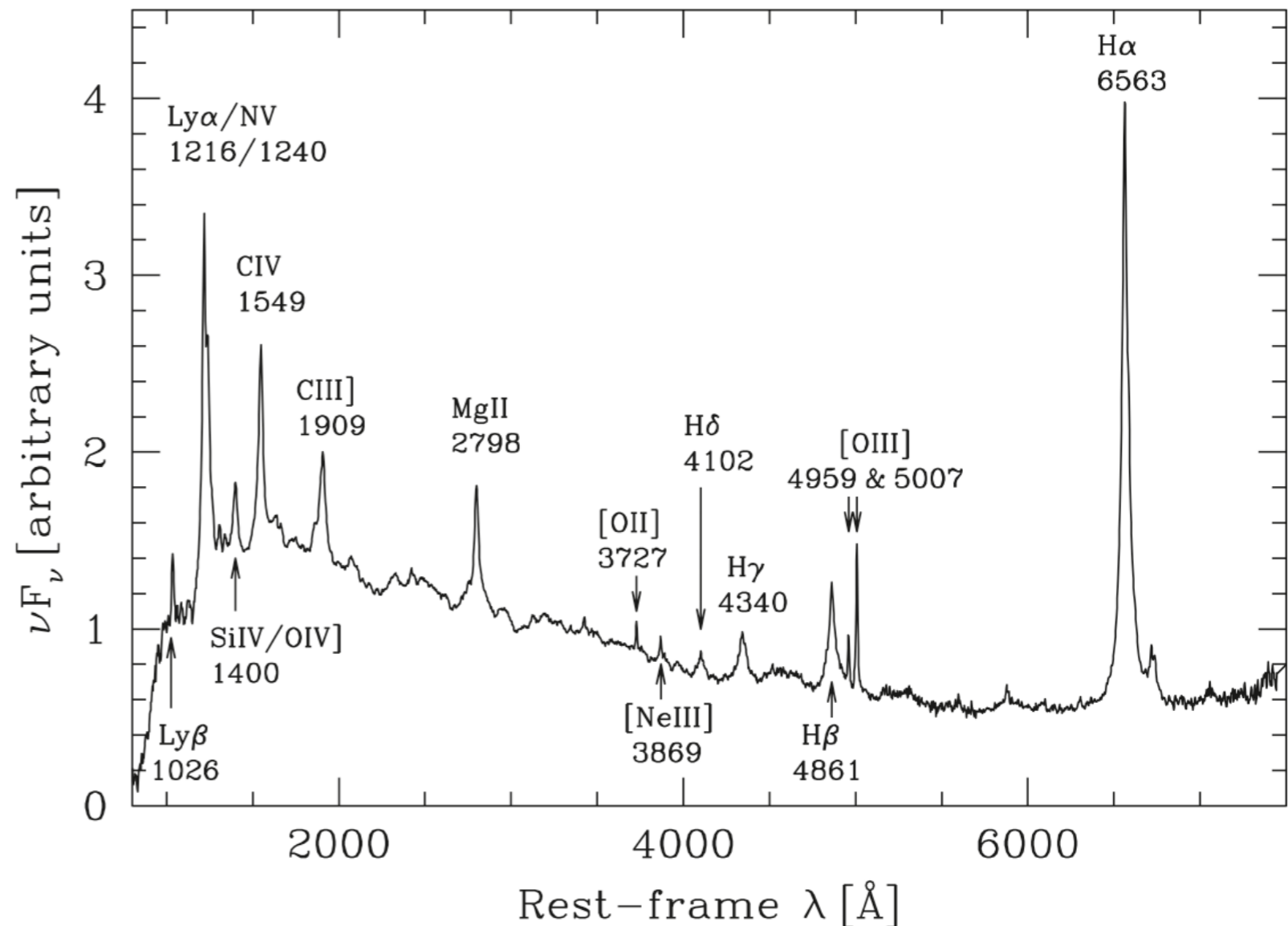


- Quasi-Stellar Radio Source: originalmente usado para as identificações ópticas de fontes de rádio compactas com espectro similar a Seyferts.
- **As características em rádio são similares a fontes intensas de rádio, mas as imagens ópticas não são resolvidas.**
- Observações de rádio de alta resolução 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)]

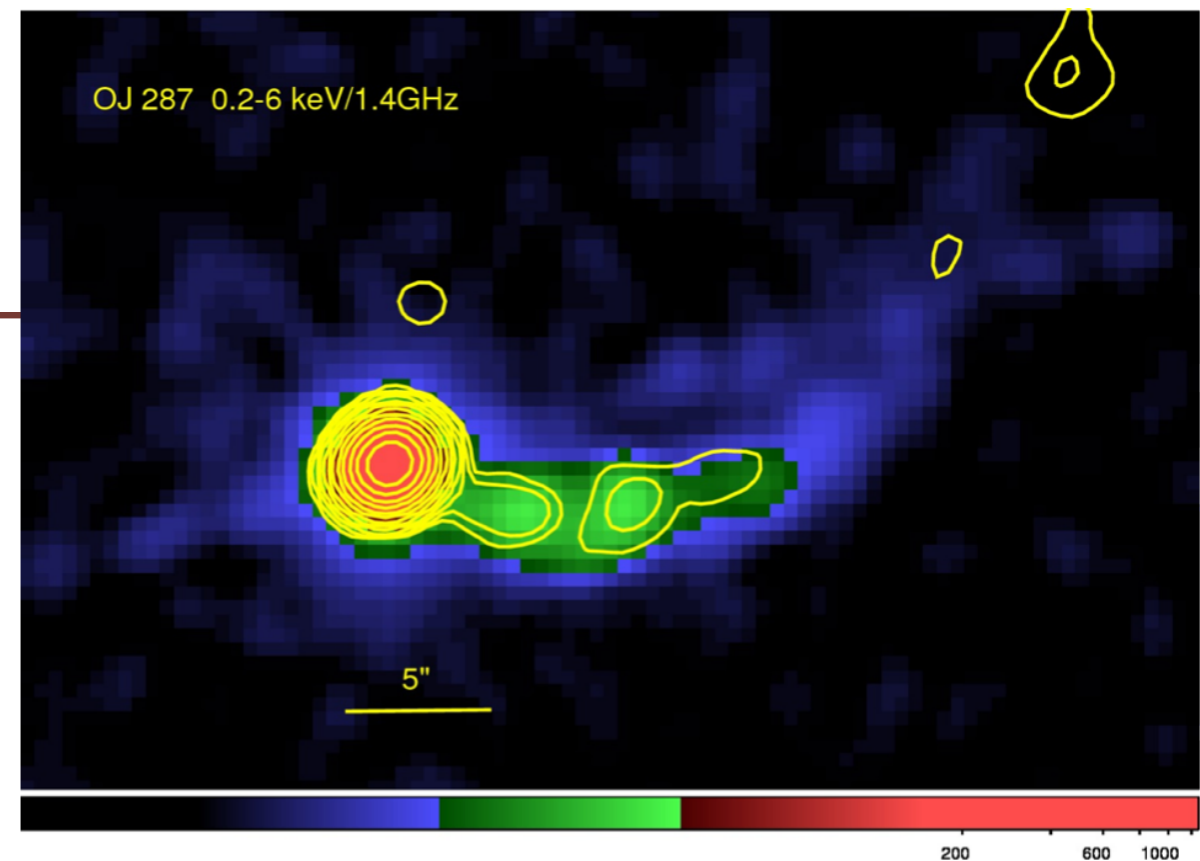


Quasar e QSO

- Objetos mais luminosos do Universos, observados até a > 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 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_{sun} pra manter a luminosidade; provavelmente os quasares não mantêm essa luminosidade por mais que ~ 1 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 ~ 100 Myr

As fontes mais energéticas do Universo

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 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**

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

AGN - Active Galactic Nucleus

O modelo unificado

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

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

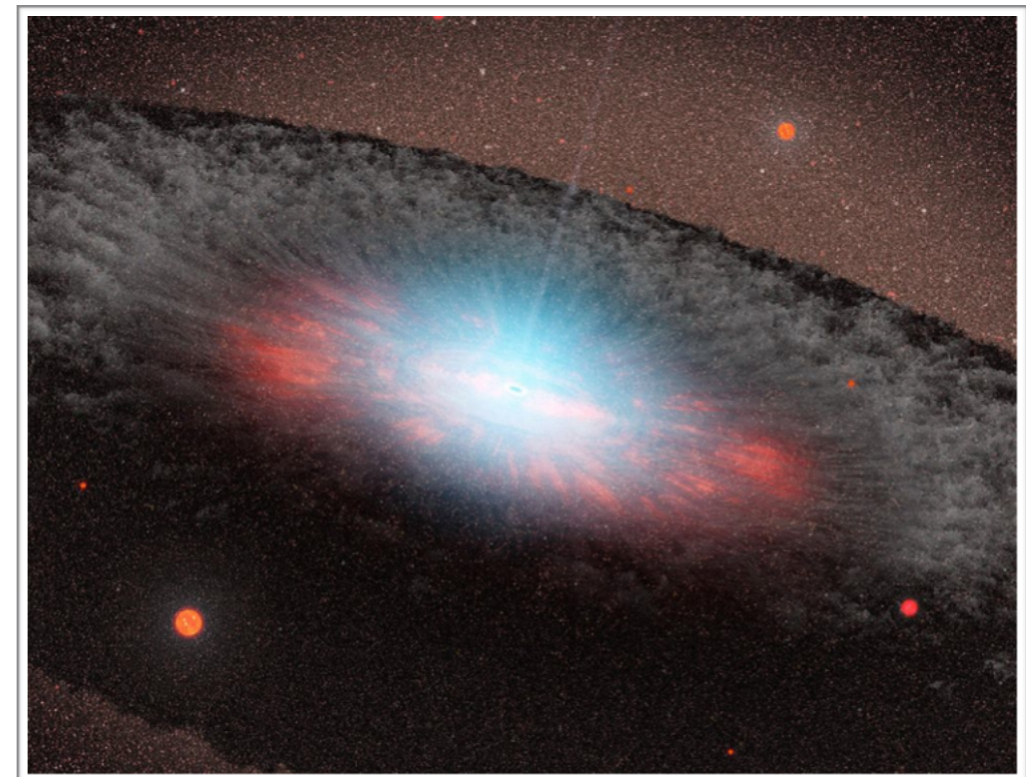
1.1. AGN Classification

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_{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.

O paradigma do Buraco Negro Super Massivo

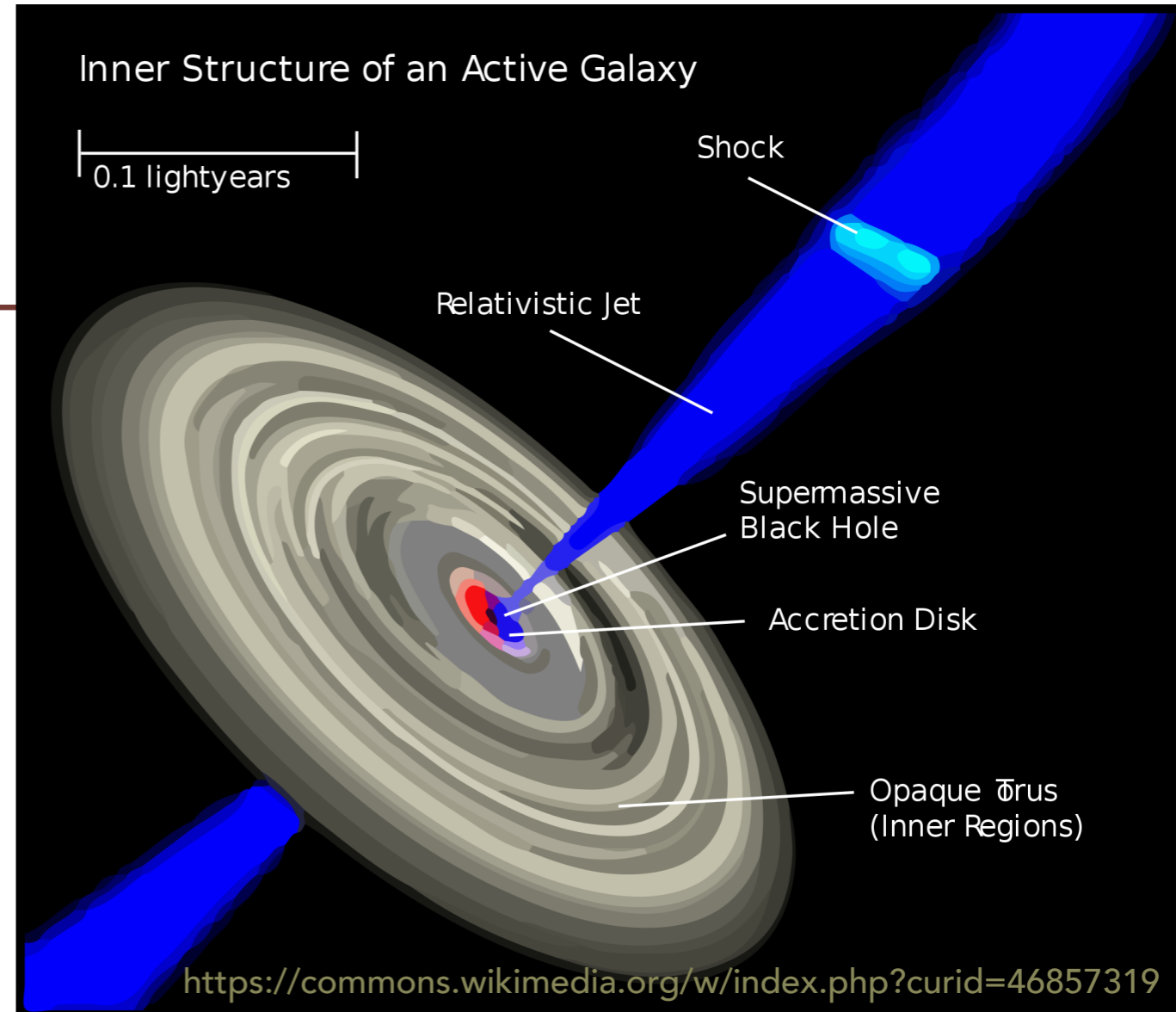
- Em termos energéticos, uma AGN é extraordinária em termos da quantidade de energia emitida em uma região tão pequena
- Uma questão óbvia a se fazer é como essa energia é gerada
- Hoje em dia é amplamente aceito que o motor central é um buraco negro supermassivo (SMBH), idéia originalmente proposta 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 relativísticas

O modelo padrão

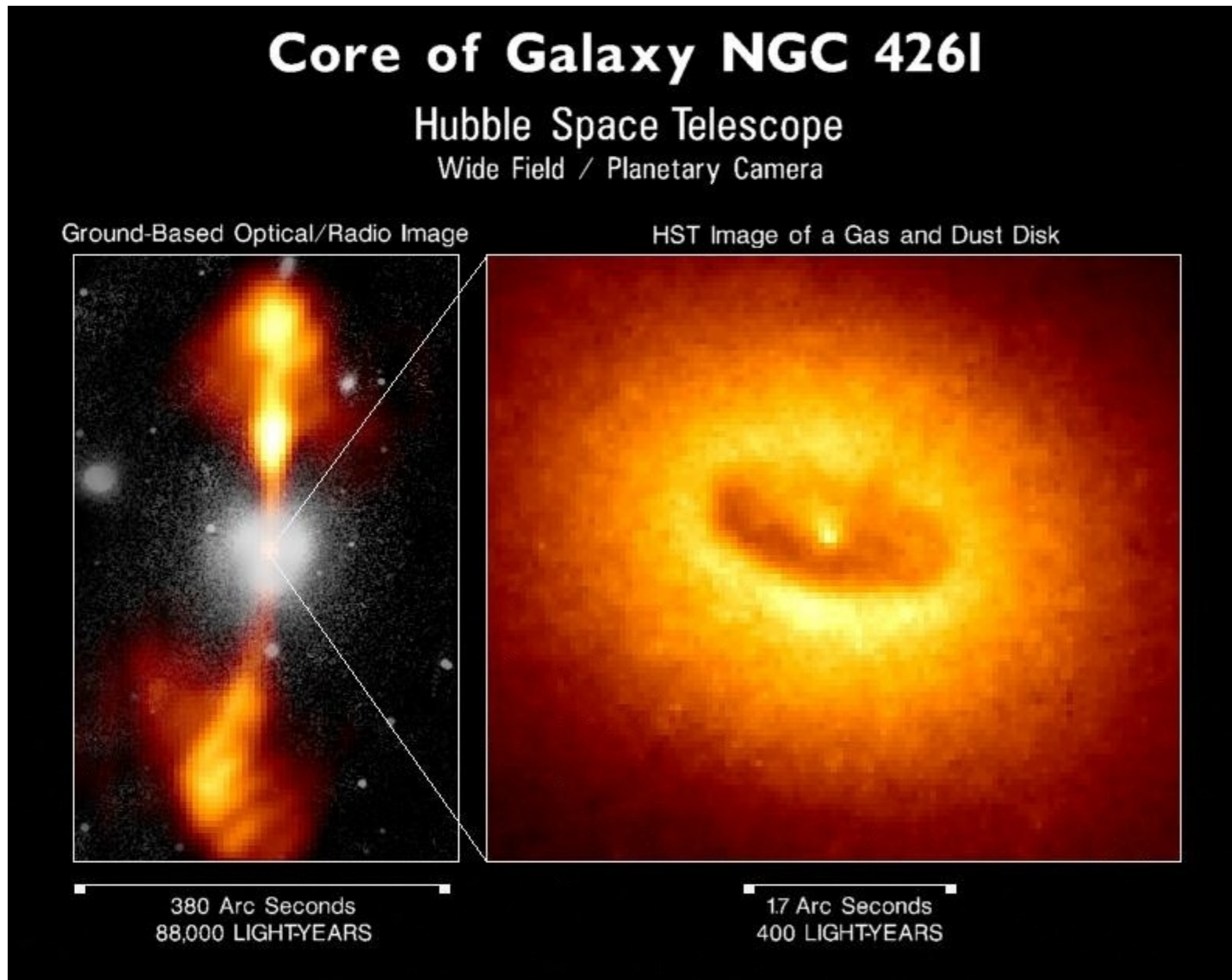
- Uma grande parte da radiação do AGN deve ser obscurecida por gás e poeira próximo ao disco de acreção, que será re-irradiada em outro comprimento de onda (IR).
- Assumimos que a AGN é gerada pelo gás sendo acretado no BN, e a fonte de energia é o potencial gravitacional do buraco negro central

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

- 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:

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

Imagem do disco de poeira em torno de um SMBH

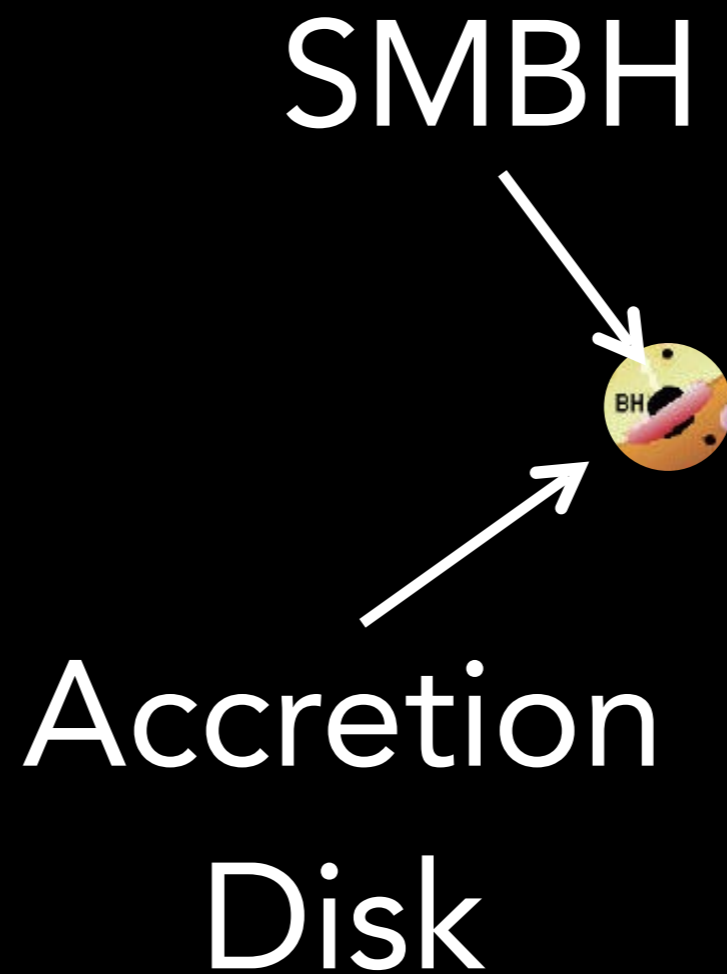


[Right]: A giant disk of cold gas and dust fuels a possible black hole at the core of the galaxy. Estimated to be 300 light-years across, the disk is tipped enough (about 60 degrees) to provide astronomers with a clear view of the bright hub, which presumably harbors the black hole. The dark, dusty disk 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.

Modelo unificado passo a passo...

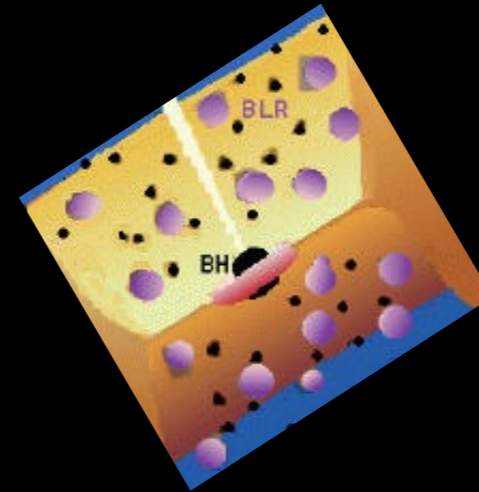
Todas as AGN tem o mesmo “motor” central

- ◆ BN supermassivo + disco de acreção



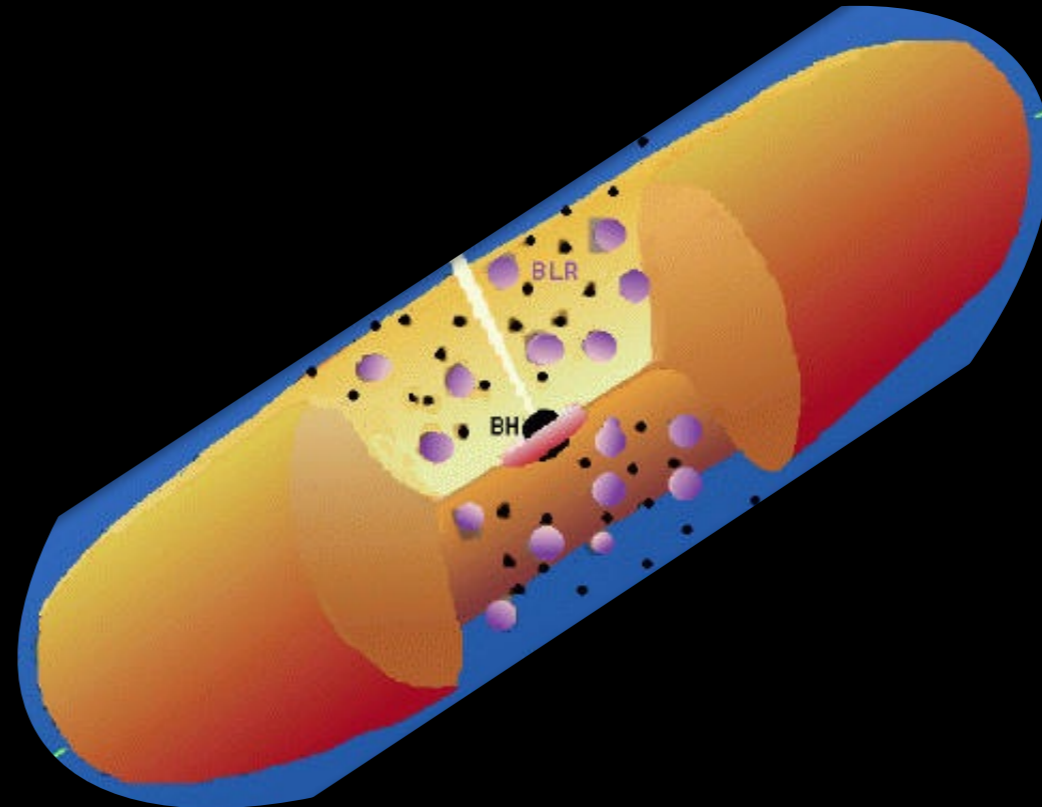
Gás na BLR é aquecido por fótons UV e emite linhas ópticas largas

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



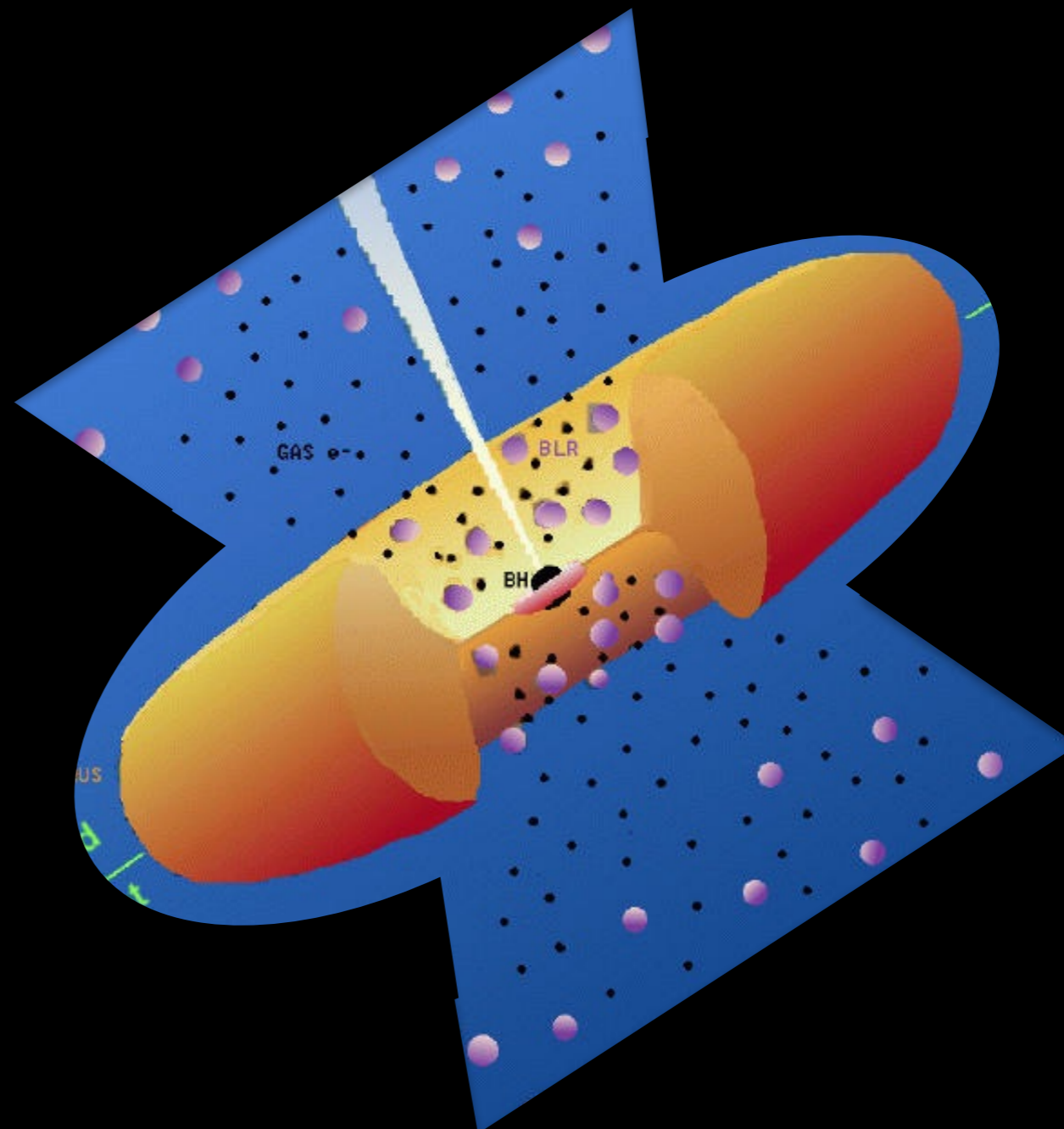
Gás e poeira do toro podem obscurecer as regiões centrais da AGN

- ◆ 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**



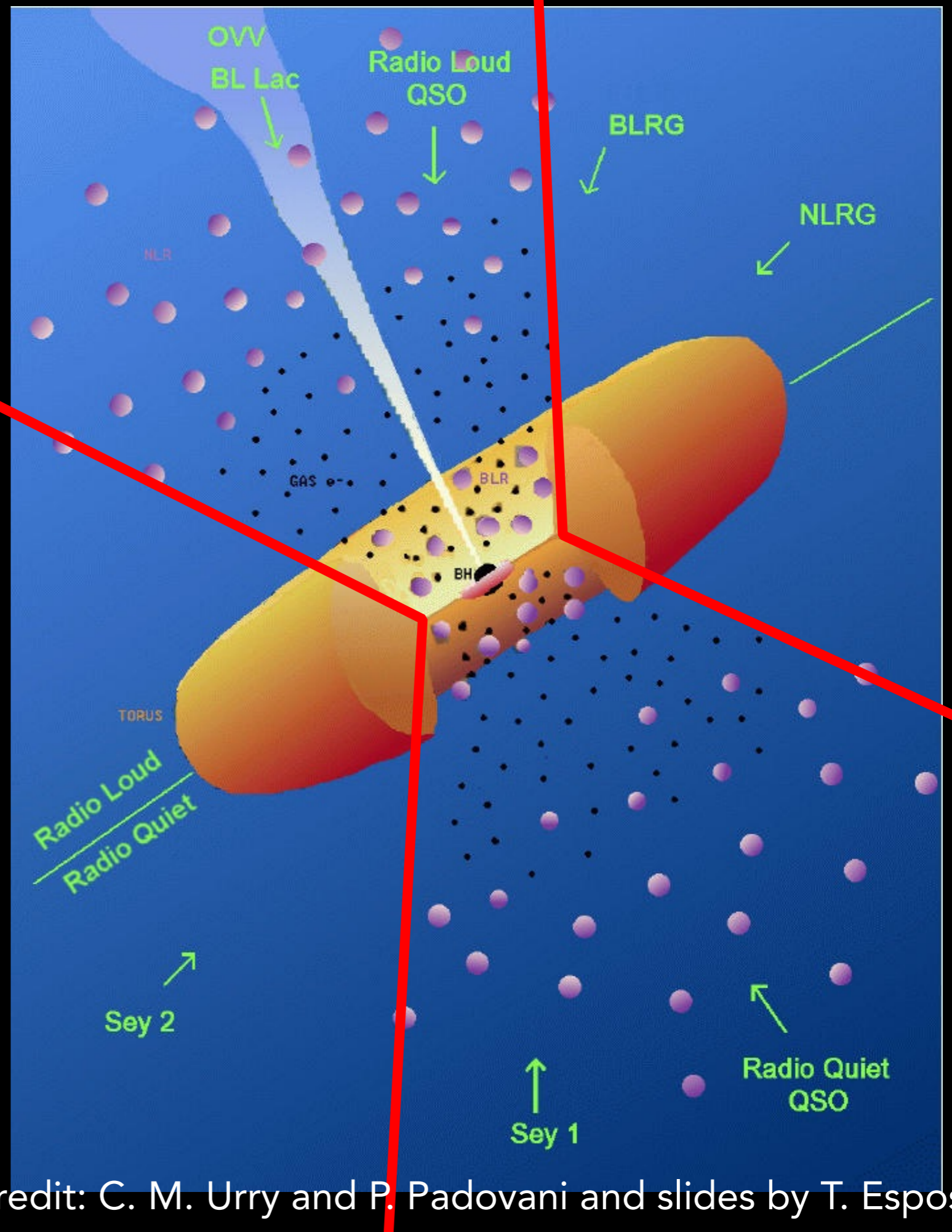
Elétrons energéticos fora do toro e BLR espalham a emissão nuclear

- ◆ 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

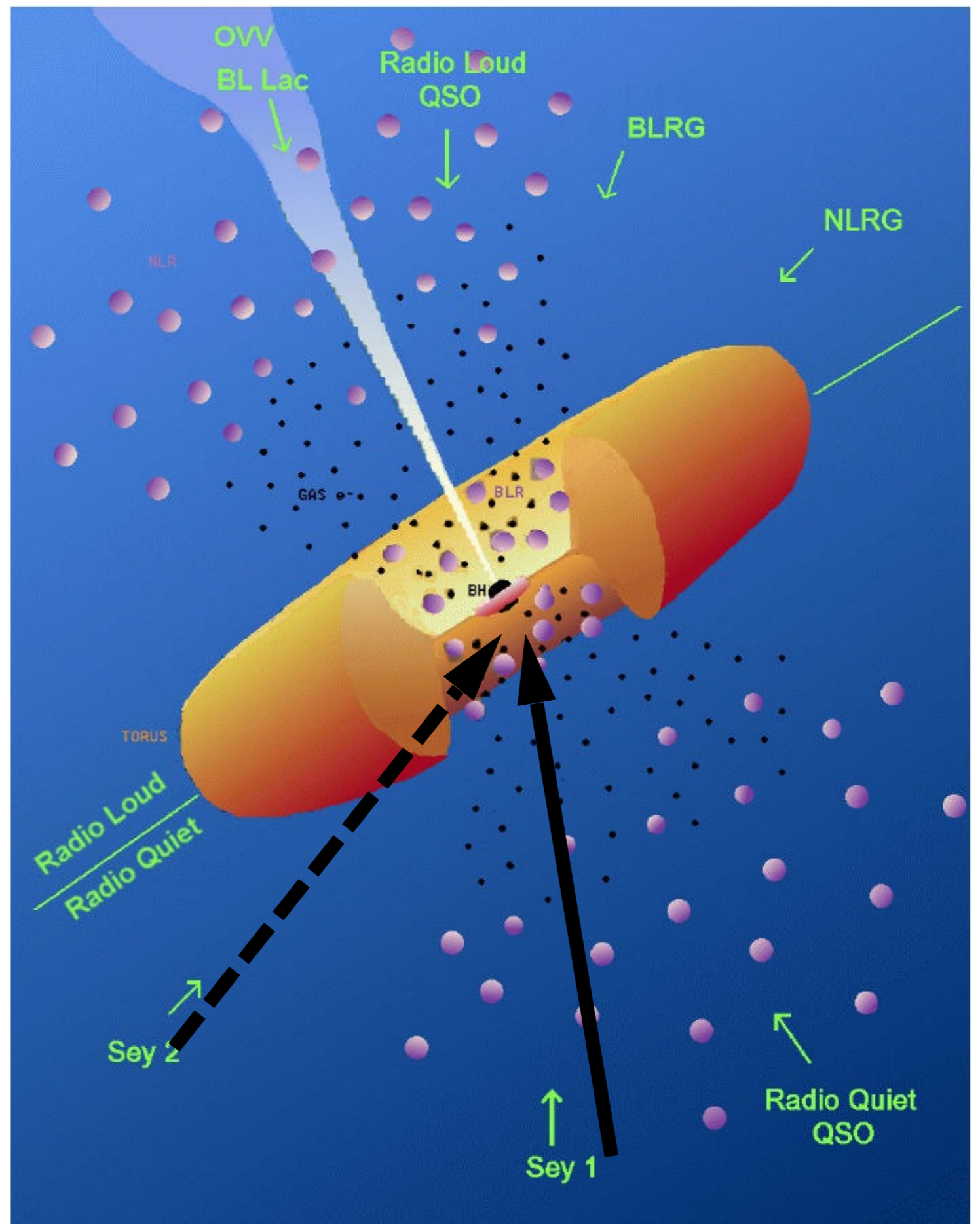
- ◆ BN supermassivo mais disco de acreção
- ◆ Nuvens de gás quente, denso e de alta velocidade próximo ao BN formam a "Broad Line Region" (BLR)
- ◆ Toro de poeira circunda o BN e a BLR
- ◆ Elétrons energéticos espalham contínuo polarizado + emissão da BLR
- ◆ Nuvens de gás frio, de baixa densidade e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



Credit: C. M. Urry and P. Padovani and slides by T. Esposito

Linha de visada seria então o fator que determina de uma AGN é tipo 1 ou 2 (mas Almeida et al. 2011 encontra maior dependência com a morfologia do toro do que inclinação)

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



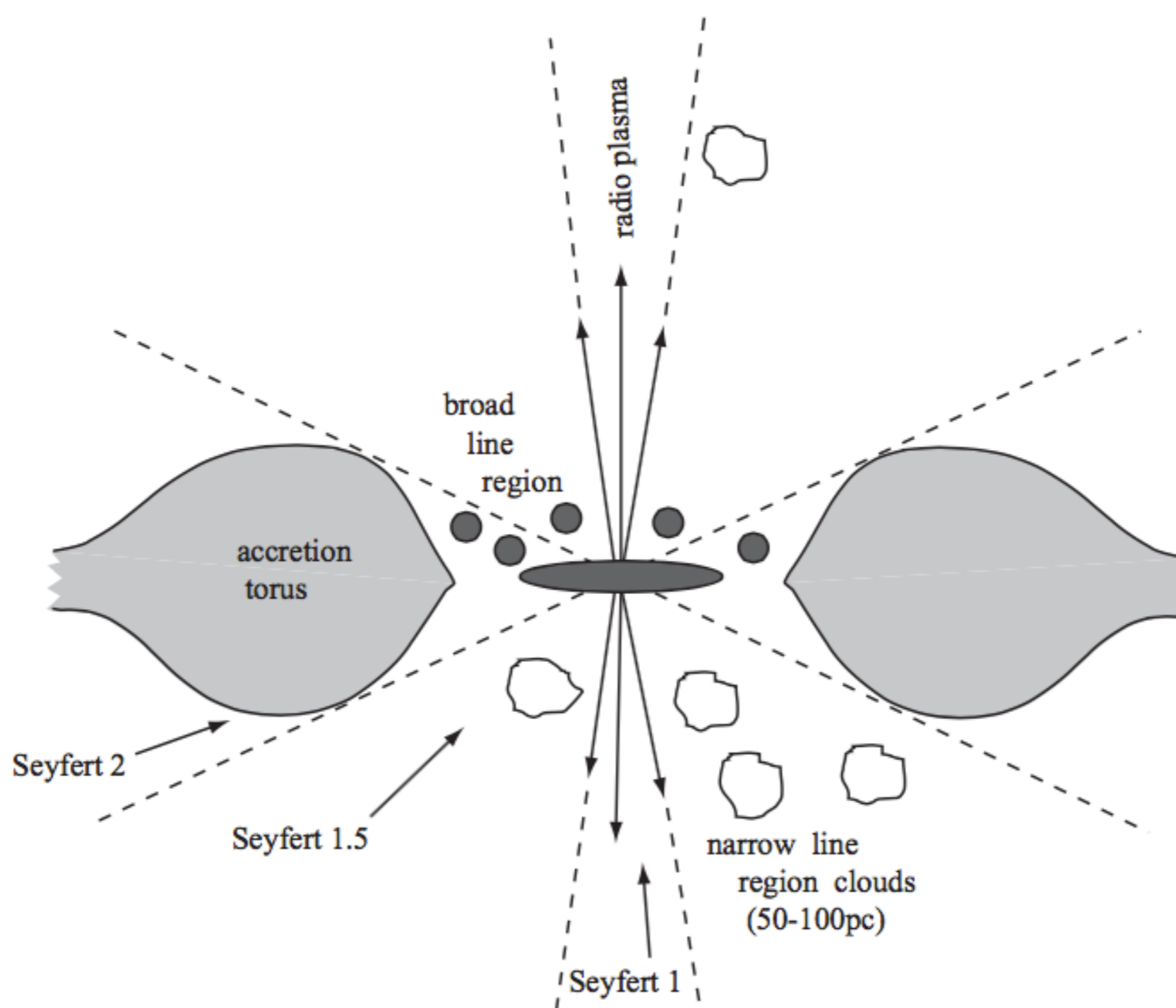


Fig. 9.3. A simple model for an active nucleus. Energetic twin jets emerge at near-light speeds along the spin axis of the central accretion disk. Radiation from the disk and jet photoionizes the dense fast-moving clouds of the broad-line region, which is often $\lesssim 1$ pc across. The more diffuse 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.

AGN - Active Galactic Nucleus

AGNs e Evolução de Galáxias

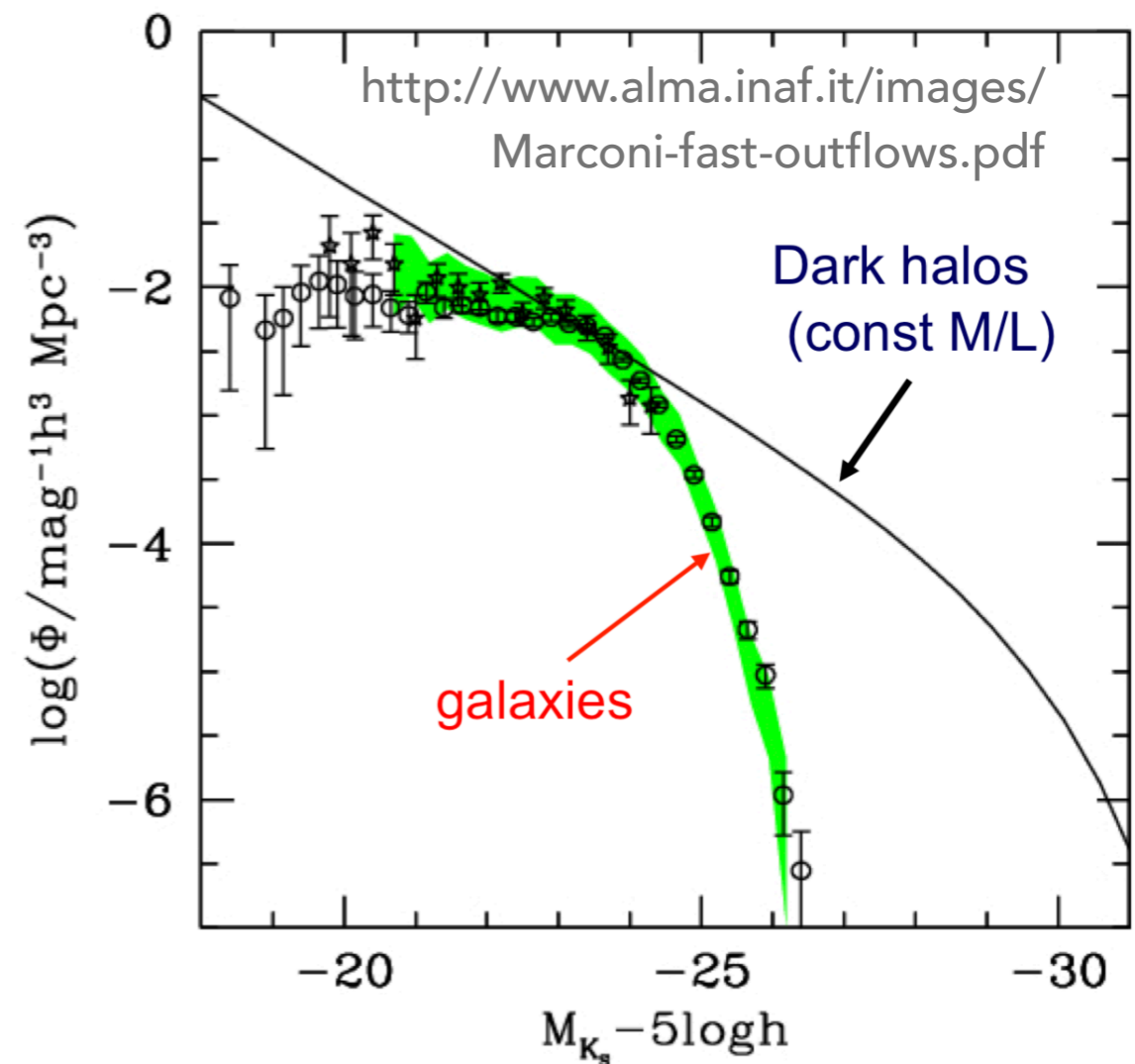
Livro texto, cap. 9

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

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

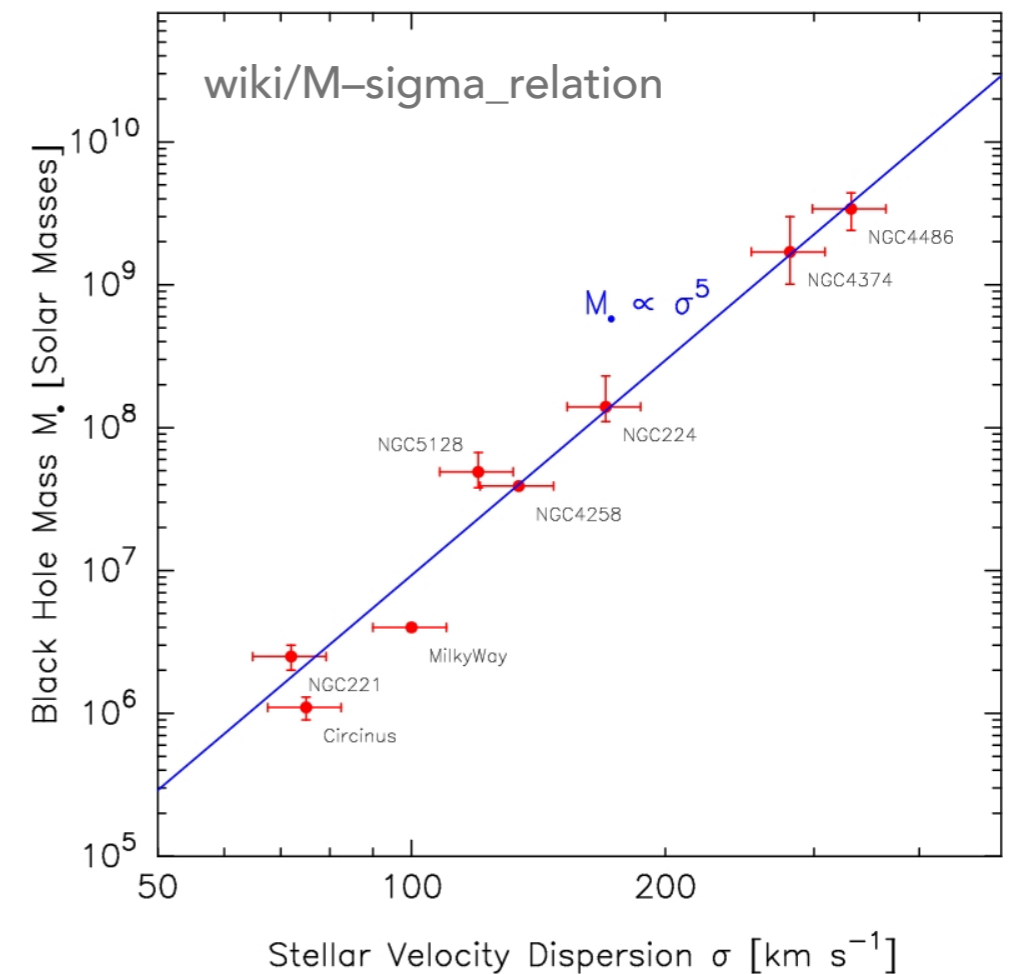
AGNs e Evolução de Galáxias

- Entender as propriedades de galáxias ativas é um aspecto importante da formação e evolução de galáxias
- 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.



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 acretada 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



<http://www.alma.inaf.it/images/Marconi-fast-outflows.pdf>

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

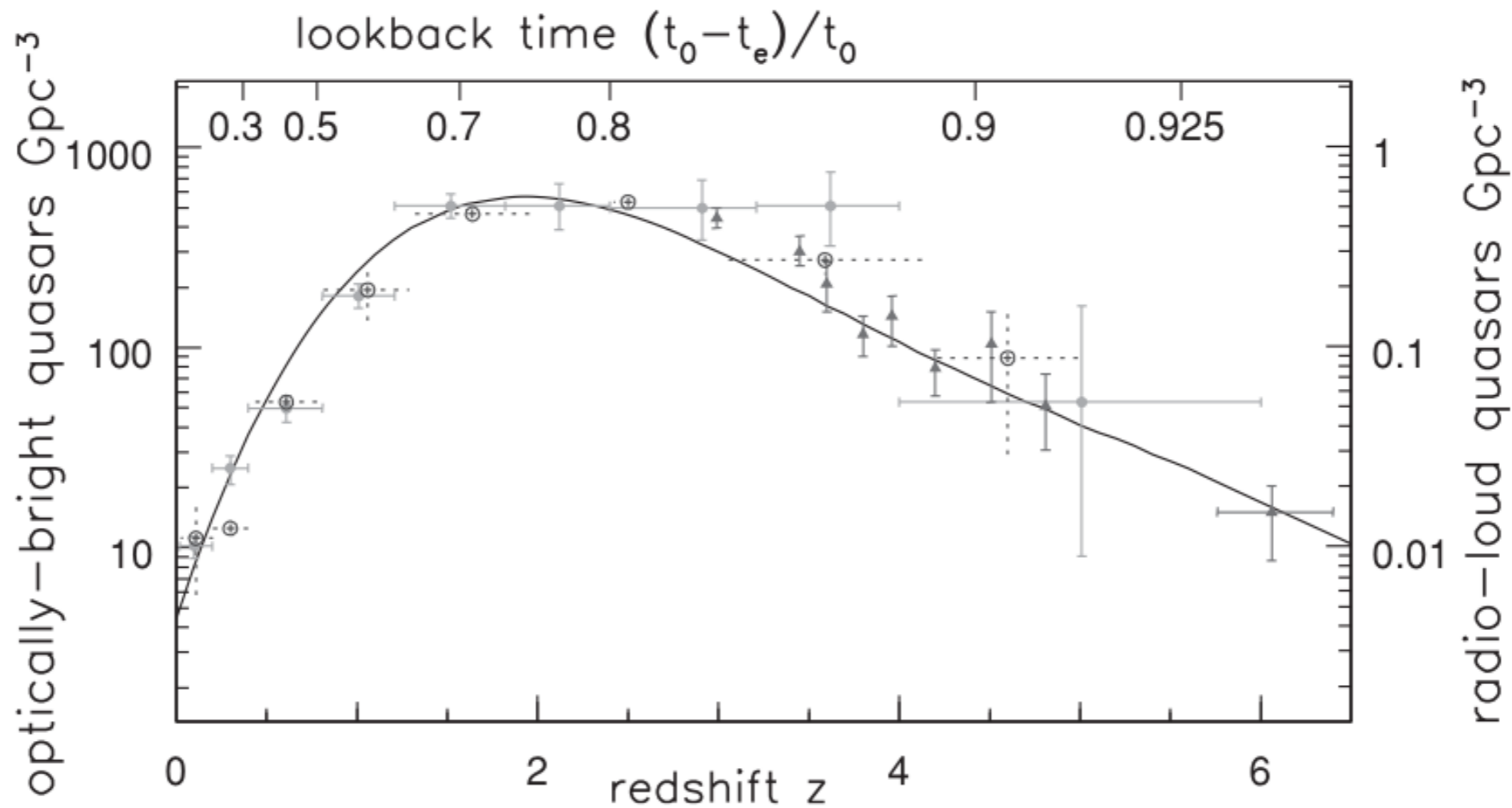


Fig. 8.13. The curve shows the density of very radio-loud ($\nu L_\nu > 3 \times 10^{10} L_{bol,\odot}$ at 2.7 GHz) quasars, triangles show optically-bright quasars ($L \gtrsim 100 L_\star$); both are most common at redshifts $z \sim 2$. Numbers of quasars bright in soft X-rays (filled dots) and hard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

Quasares e Formação Estelar

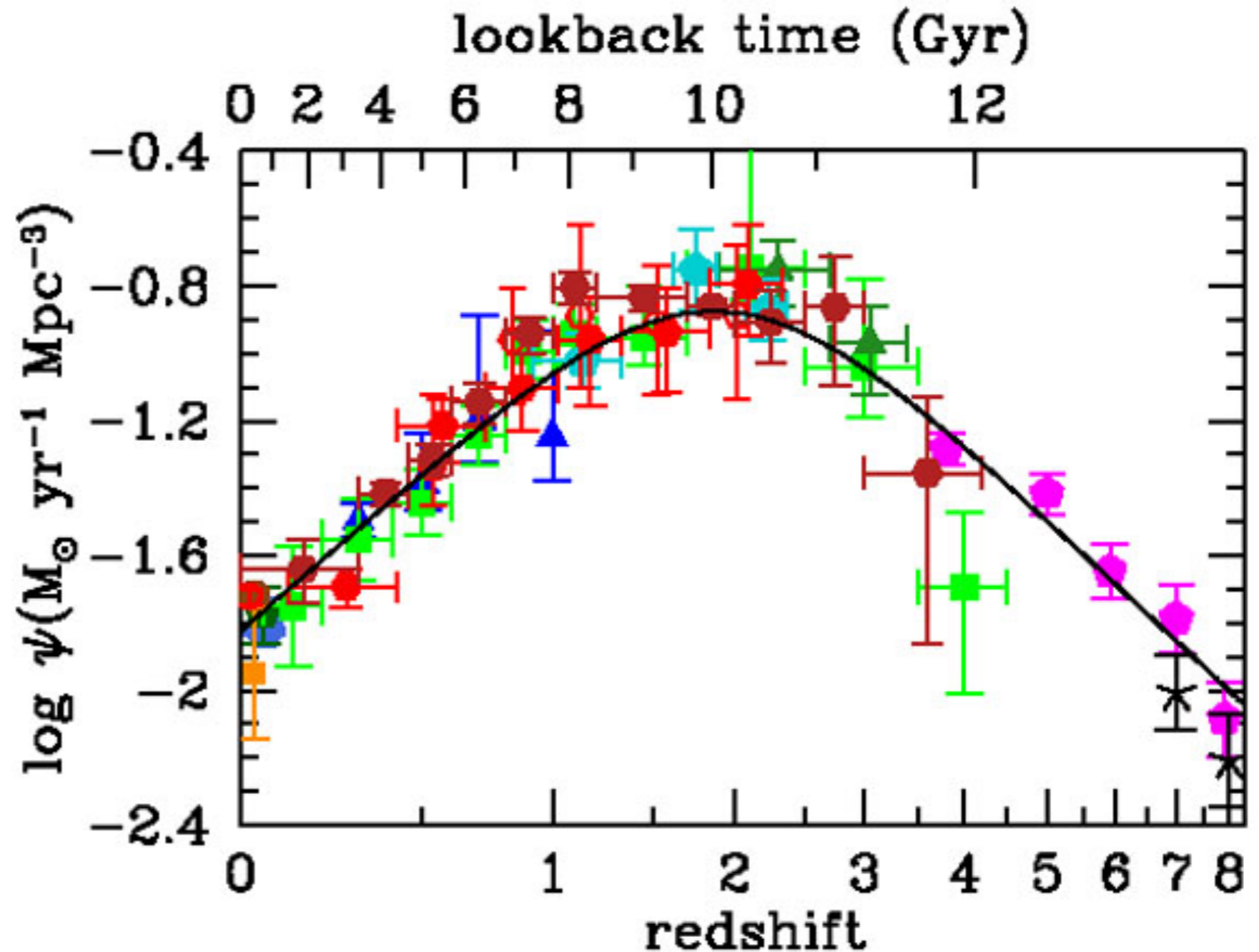


Figure 9. The history of cosmic star formation from [...] FUV+IR rest-frame measurements. The data points with symbols are given in Table 1. All UV luminosities have been converted to instantaneous SFR densities using the factor $\kappa_{\text{FUV}} = 1.15 \times 10^{-28}$ (see Equation 10), valid for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

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).

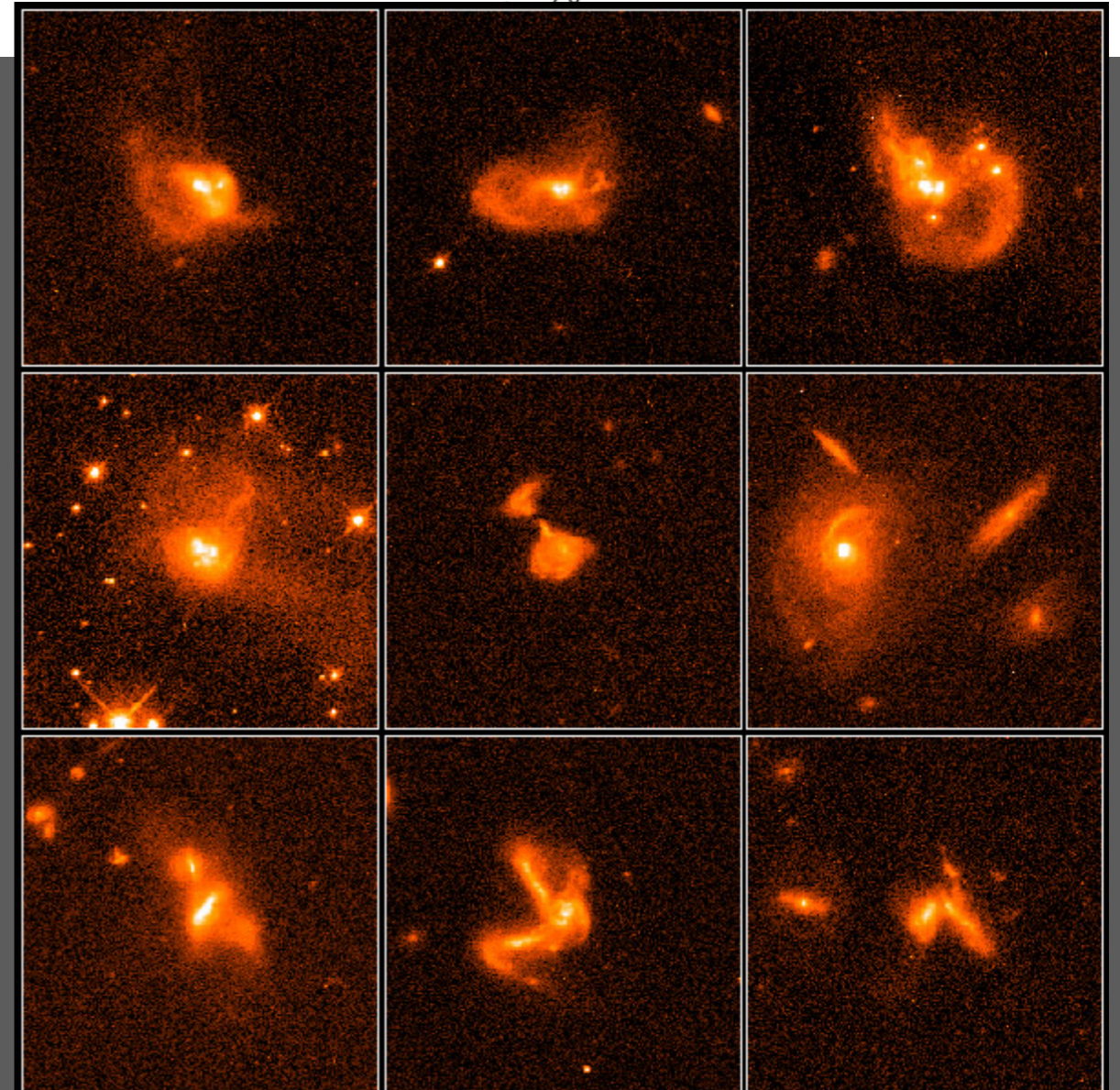
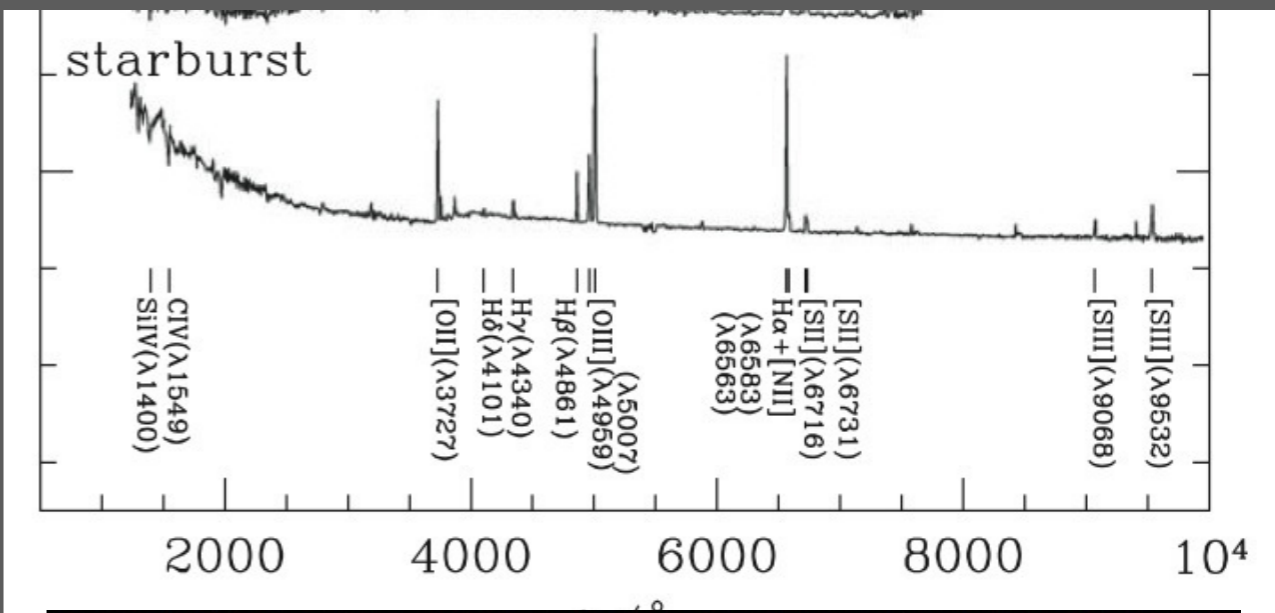


<http://hubblesite.org/image/3898>

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

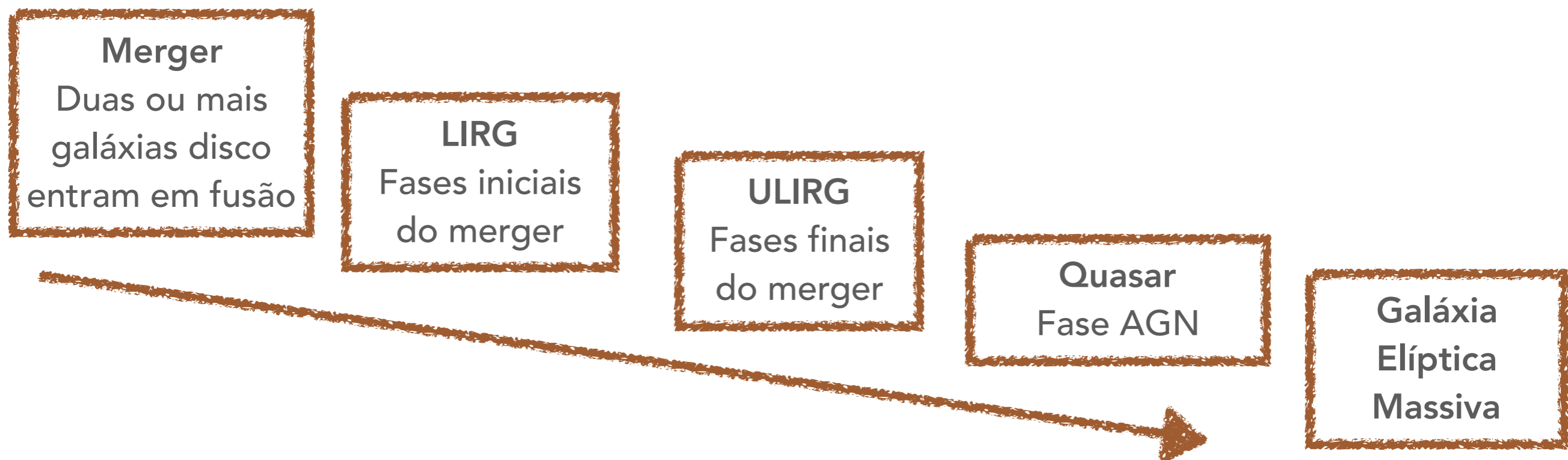
- Sistemas com taxas de formação estelar 10 a 100x mais alta do que a da Galáxia => escalas de formação de $\sim 10^8$ anos
- a região de formação é geralmente confinada aos 1kpc centrais
- quando não estão fortemente obscurecidos por poeira, a maior parte da emissão é no UV
- na maior parte dos casos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



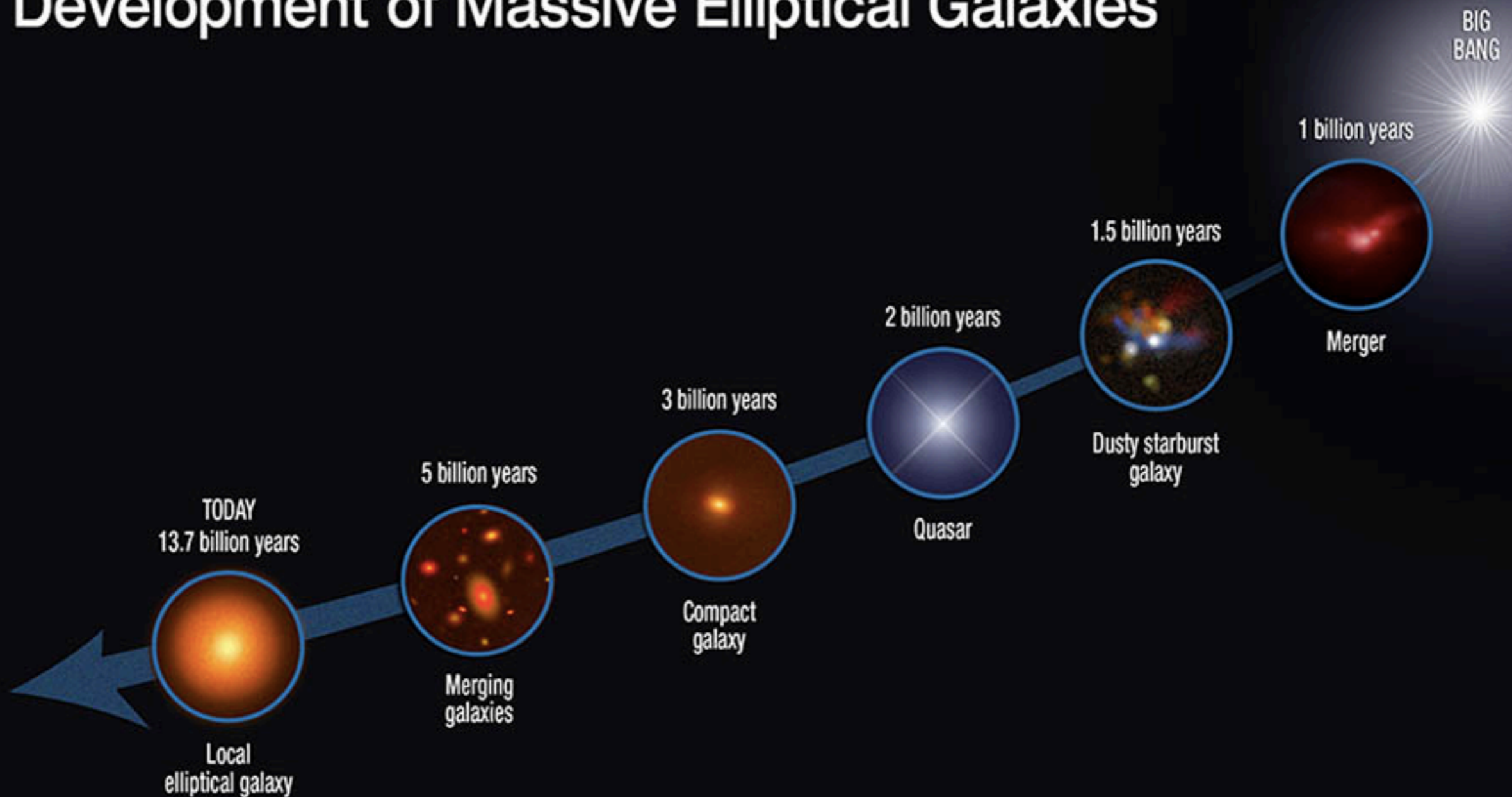
Ultraluminous Infrared Galaxies HST • WFPC2
NASA and K. Borne (Raytheon ITSS and NASA Goddard Space Flight Center), H. Bushouse (STScI), L. Colina (Instituto de Fisica de Cantabria, Spain) and R. Lucas (STScI)

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



Development of Massive Elliptical Galaxies



<http://www.spitzer.caltech.edu/images/5726-ssc2014-01a-Development-of-Massive-Elliptical-Galaxies>

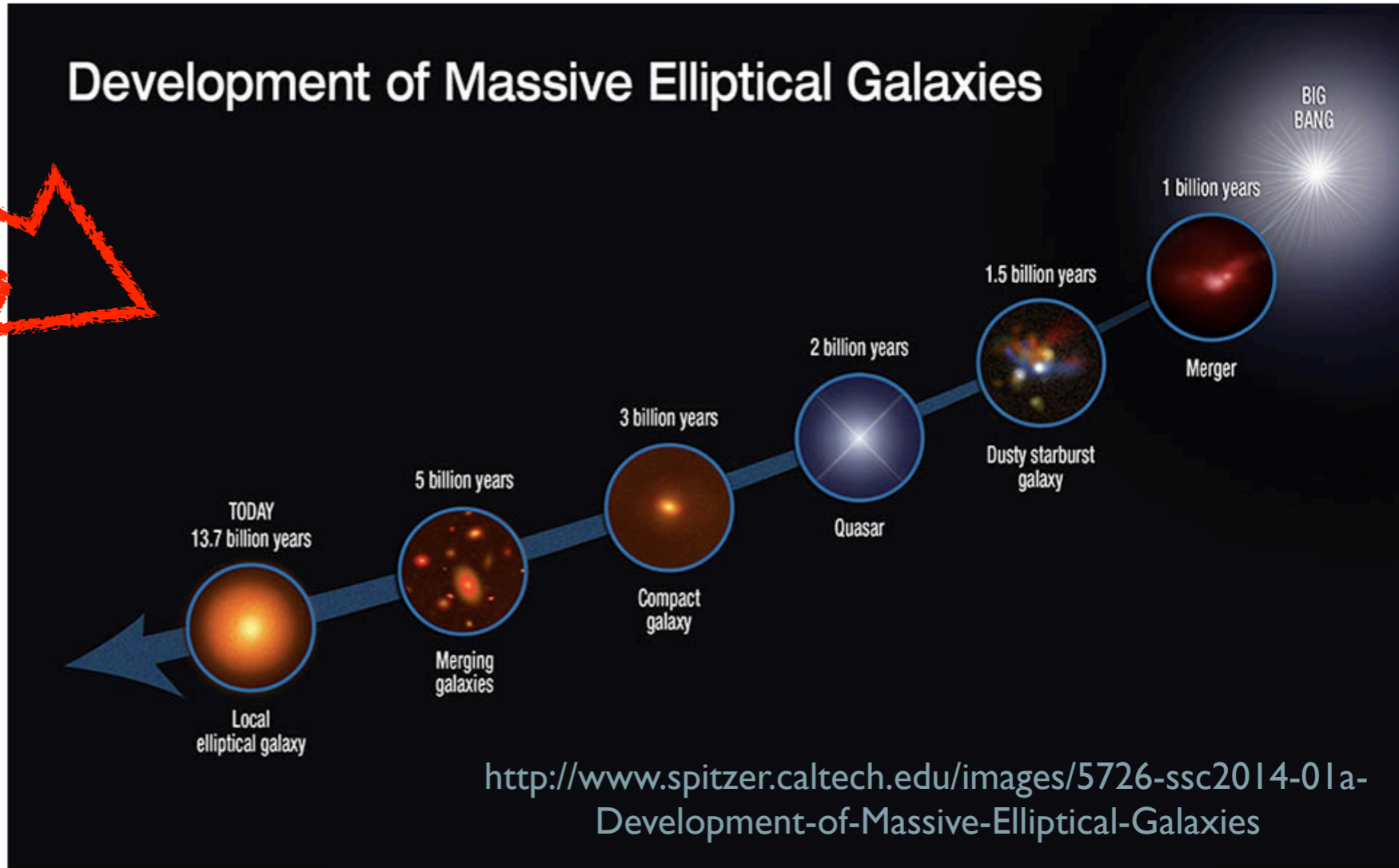
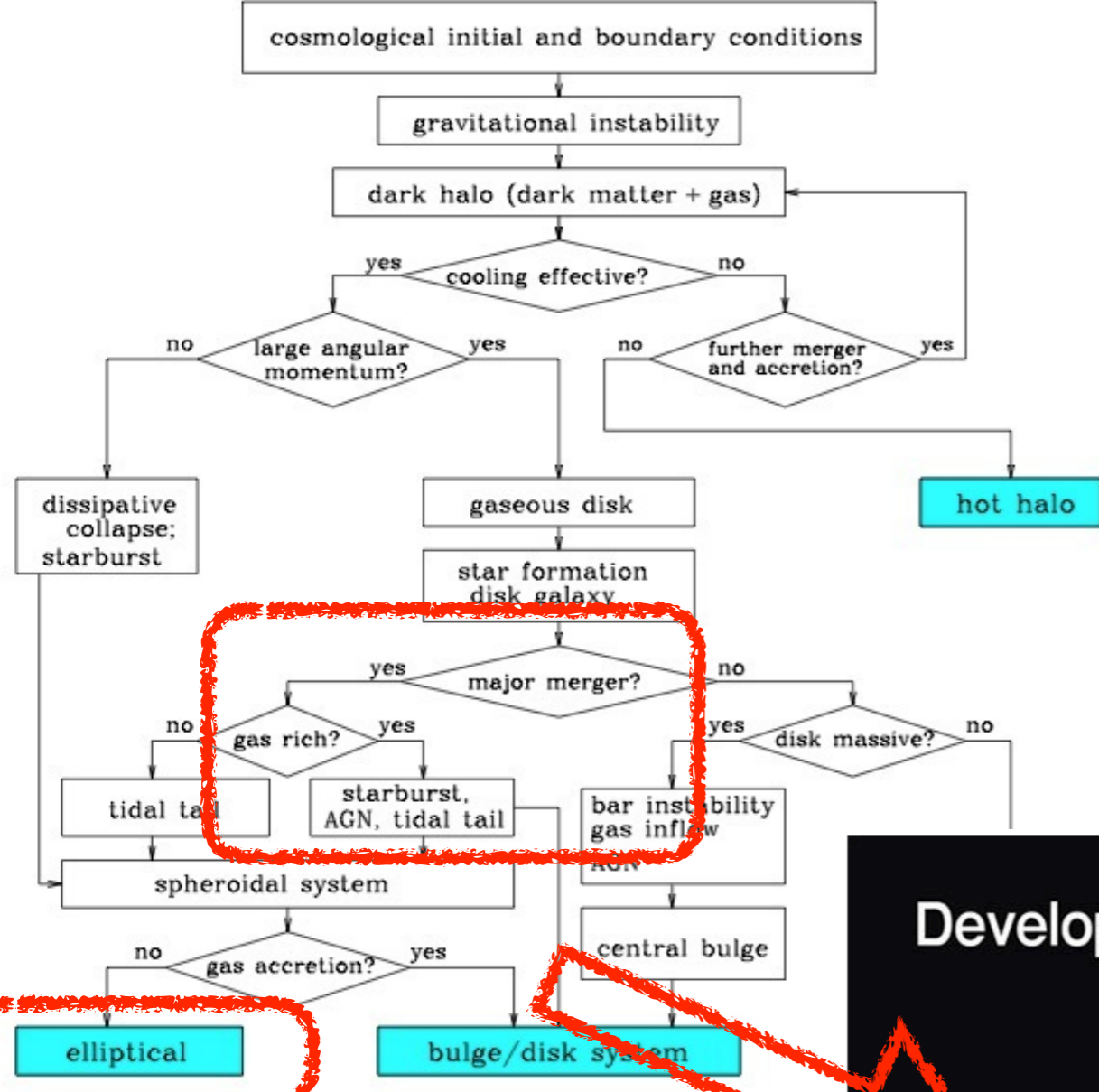


Fig. 1.1 em Mo et al.