

Compreendendo o Universo através das galáxias

Marcio A.G. Maia



Observatório
Nacional



DES-Brazil
Dark Energy Survey



61ª Reunião Anual da SBPC
12 a 17 de julho de 2009
Amazônia Ciência e Cultura
Universidade Federal do Amazonas, UFAM | Manaus, AM

REALIZAÇÃO



Capítulo 2

De físico e de artista, todo astrônomo tem um pouco.

Formação estelar em galáxias.

Colisões entre galáxias. Efeitos de maré.

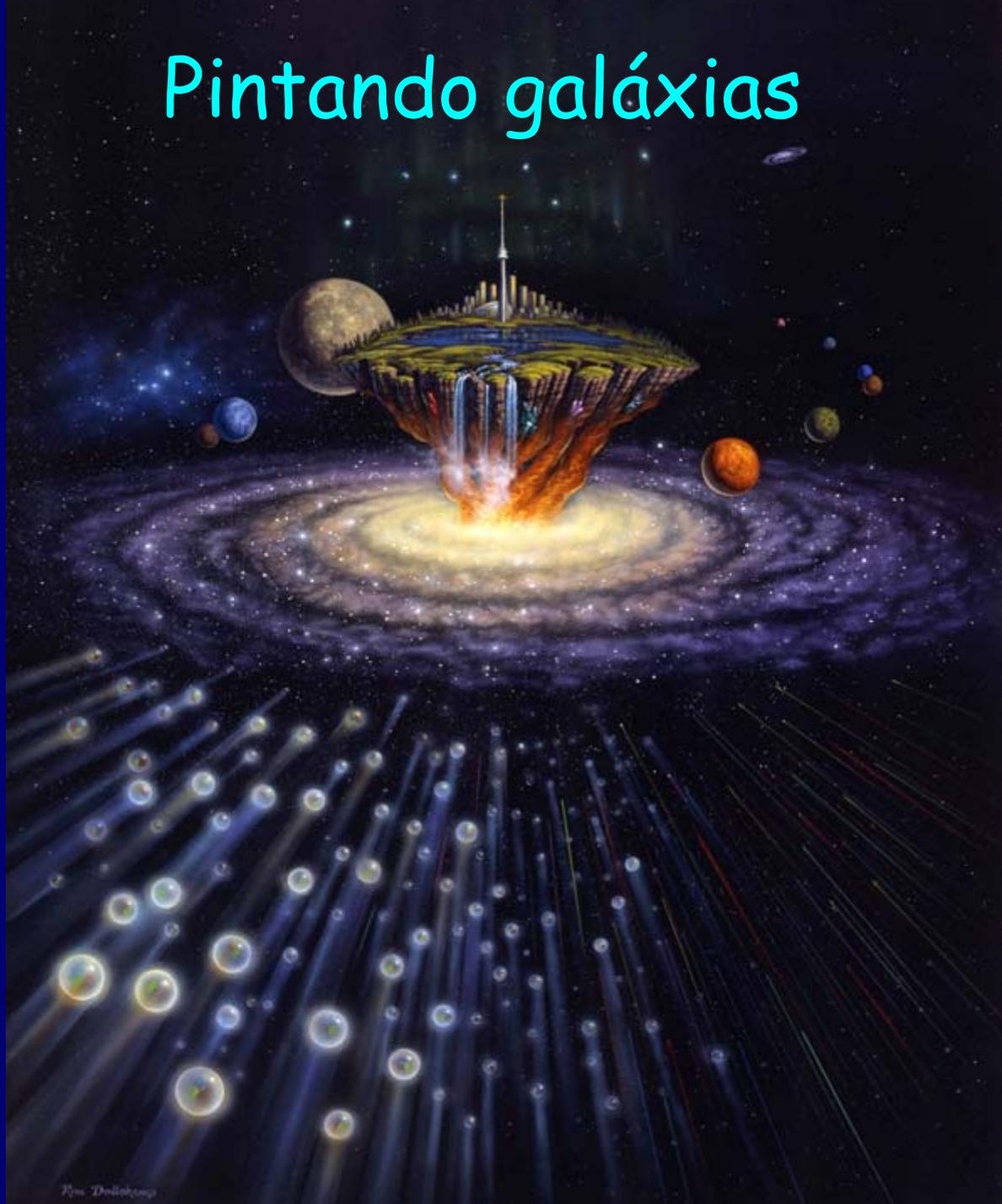
Radiogaláxias.

Galáxias com núcleo ativo – AGNs.

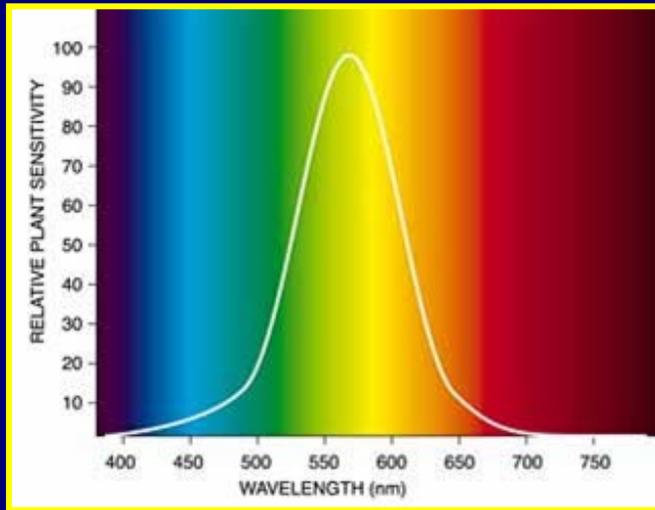
Buracos negros supermassivos.

Quasares.

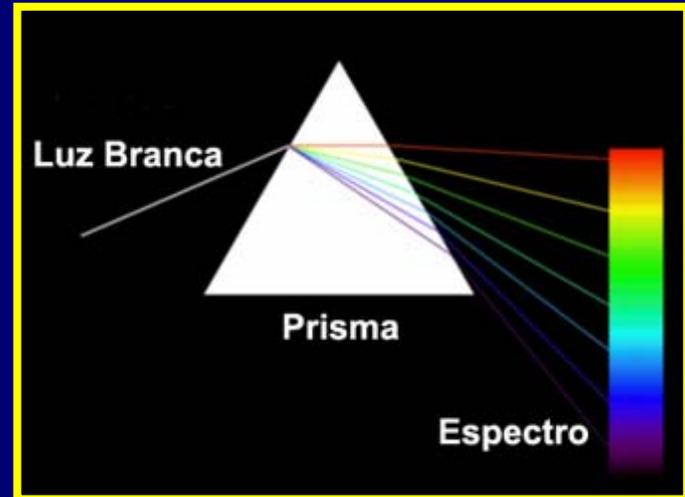
Pintando galáxias



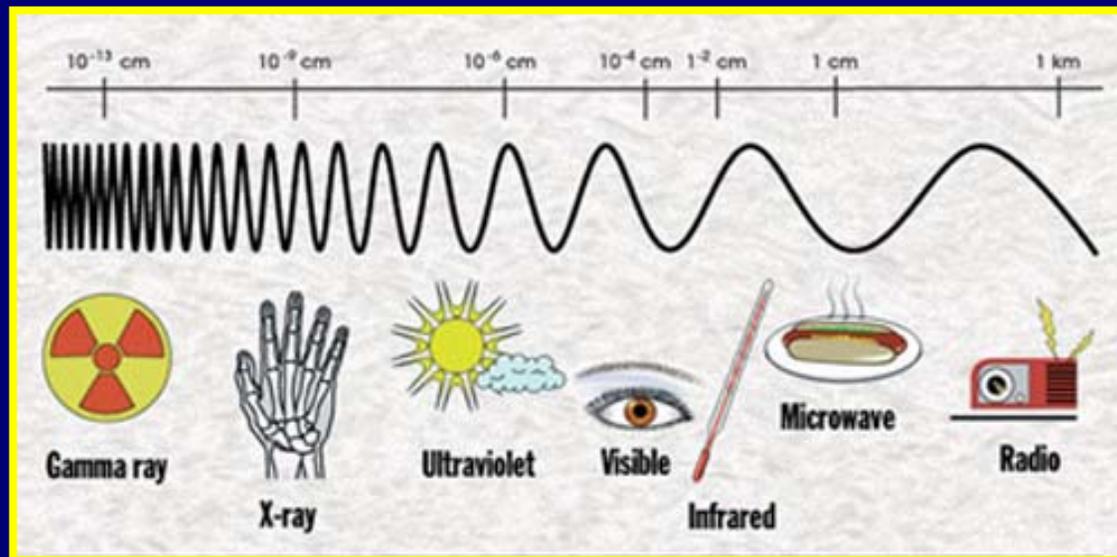
O espectro eletromagnético



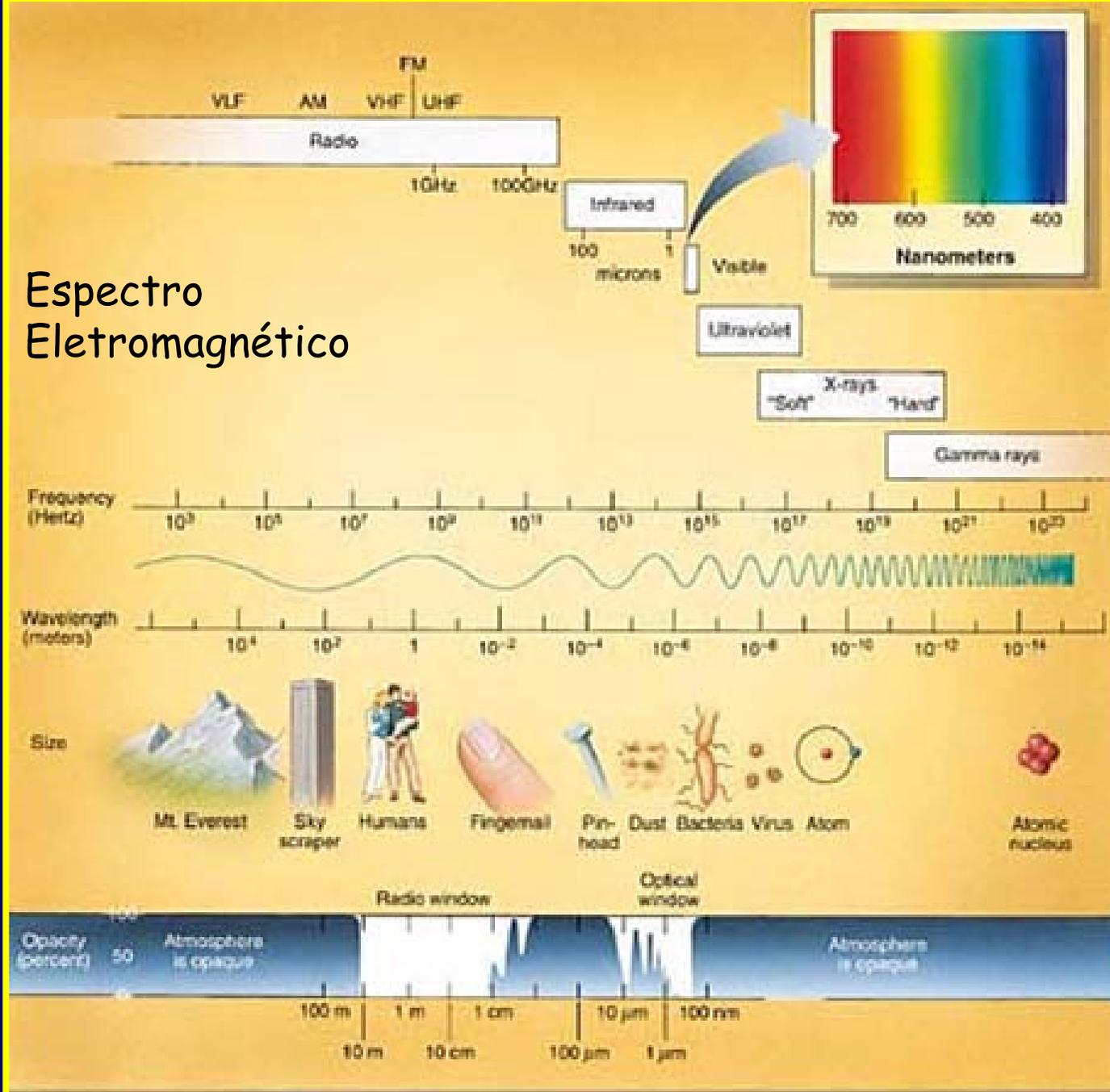
Curva de resposta do olho humano



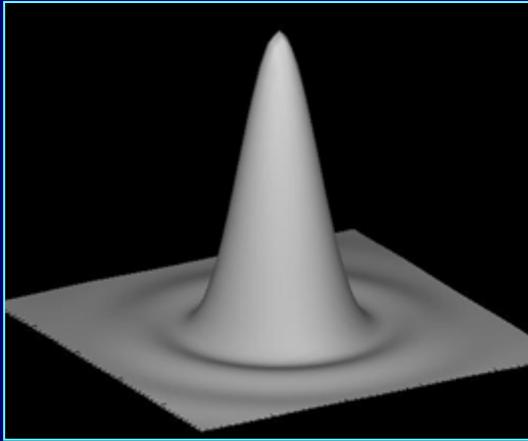
Decomposição da luz branca em cores



Espectro Eletromagnético



Resolução de um telescópio



$$\text{Resolução} \approx 1,22 \lambda / D$$

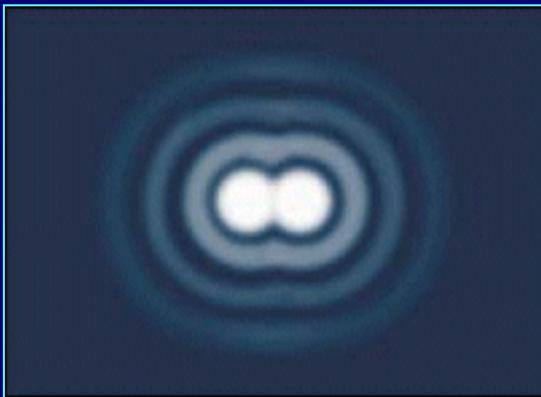
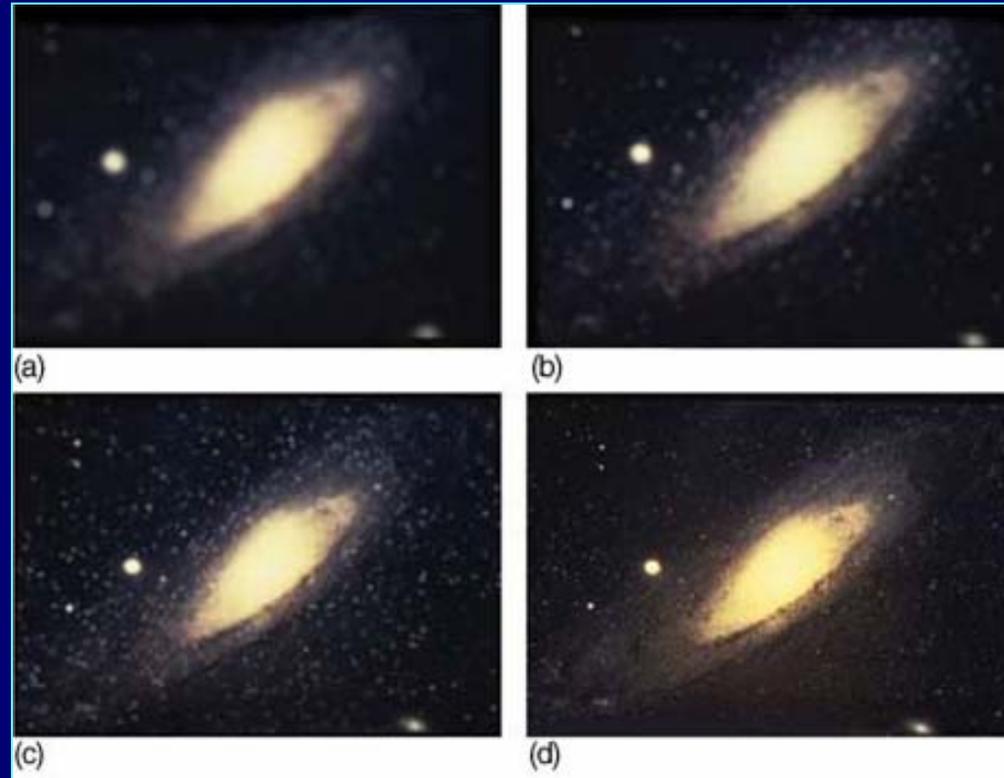
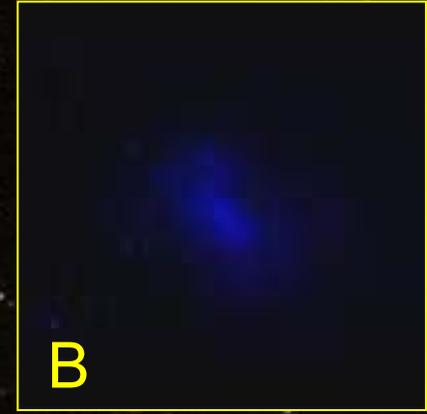
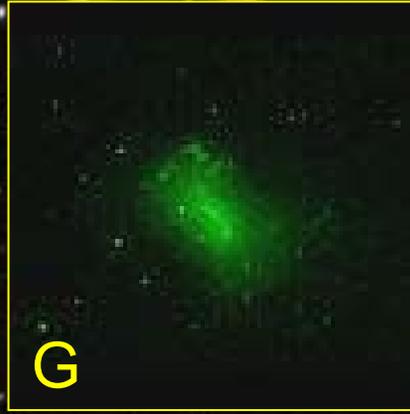
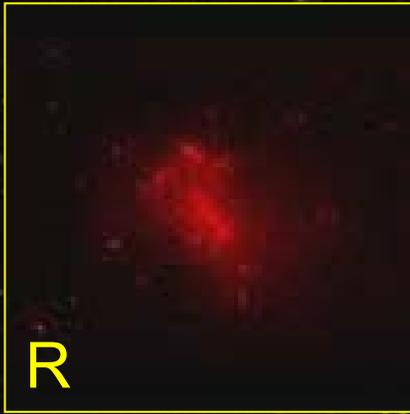


Figura de difração de duas fontes pontuais colocadas muito próximas.

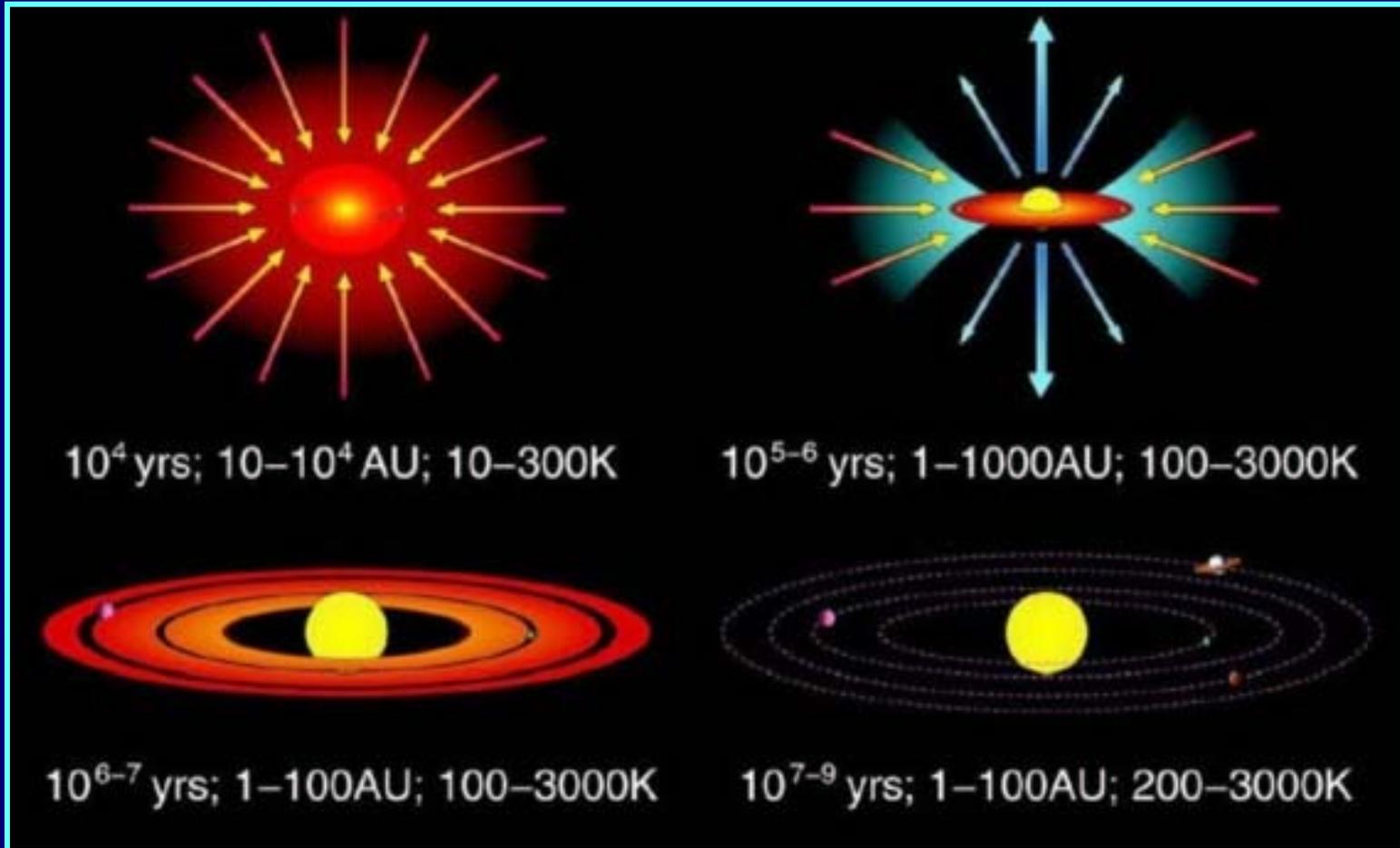


Imagens de Andrômeda com diferentes resoluções.

Uso de cores falsas em imagens astronômicas



Formação estelar



O processo básico de formação de uma estrela envolve o colapso de uma nuvem de gás e poeira

Formação de estrelas



Região com gás e poeira onde estão nascendo estrelas, ainda envoltas em seus casulos.

Nebulosa da Águia

Simulação de uma região de formação estelar



Formação estelar em galáxias

A formação de estrelas em uma galáxia está relacionada com:

- 1- as condições iniciais de sua formação;
- 2- a evolução que a mesma sofre após sua formação;
- 3- a disponibilidade de gás e poeira frios.

As **galáxias elípticas** tiveram a produção de estrelas em um grande surto, que foi interrompido após exaurirem seu "combustível" (o gás do meio interestelar).

As **galáxias espirais**, possuidoras de um momento angular importante, conseguiram suportar o colapso rápido do material da protogaláxia. Após a formação de um Bojo, o restante do material tende a se depositar ao longo do disco, e ao resfriar-se possibilita a formação de estrelas. Este ciclo é bem mais longo que o das elípticas.

Um outro fator importante, é o meio ambiente em que a galáxia reside. Este pode afetar favorável ou desfavoravelmente. Ex: Interações entre galáxias tendem a induzir a formação de estrelas. Galáxias em aglomerados tem seu gás arrancado pelo meio intergaláctico, inibindo-a.

Formação estelar em galáxias (cont.)

Regiões com gás e poeira com potencial de formação estelar

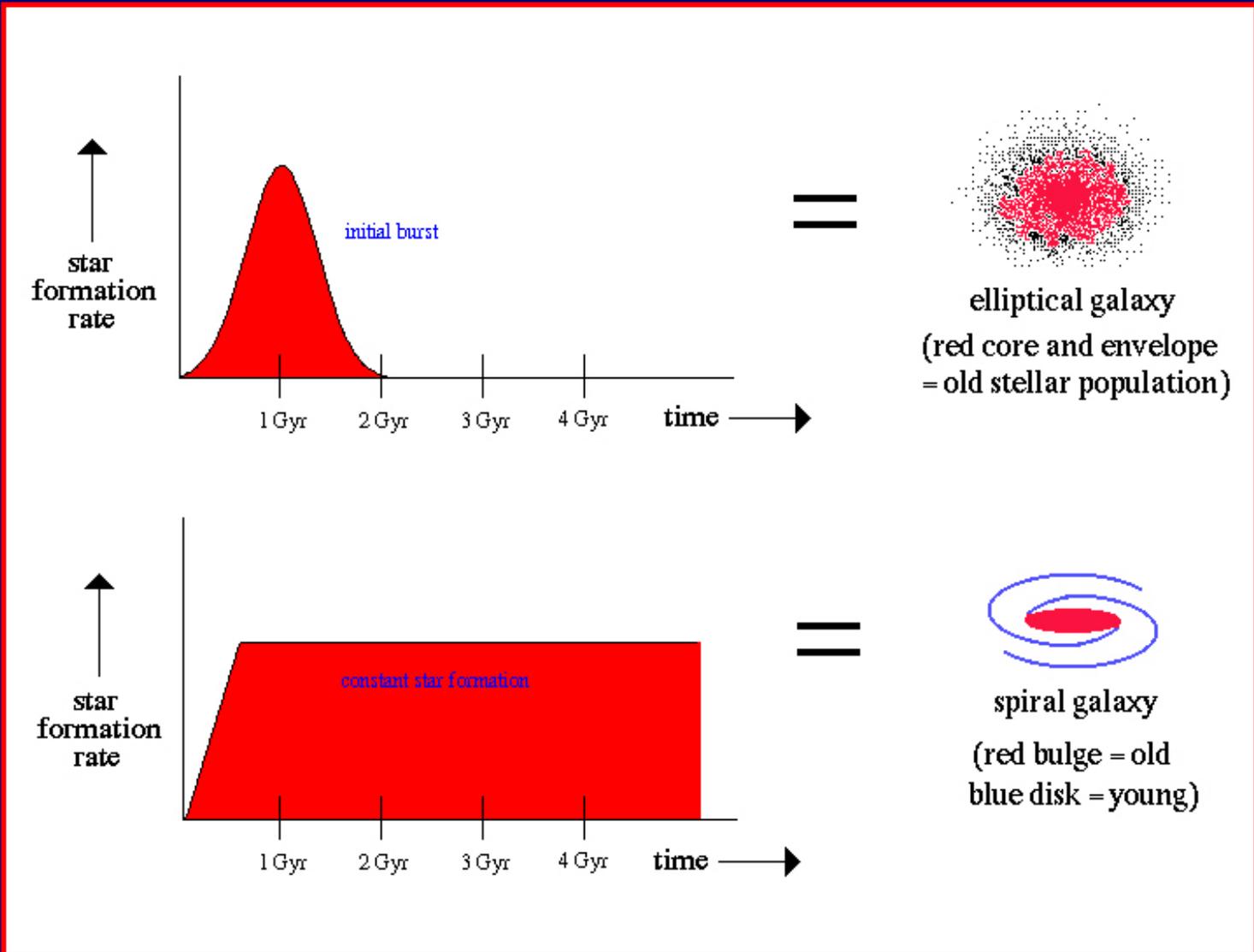


Regiões com estrelas jovens

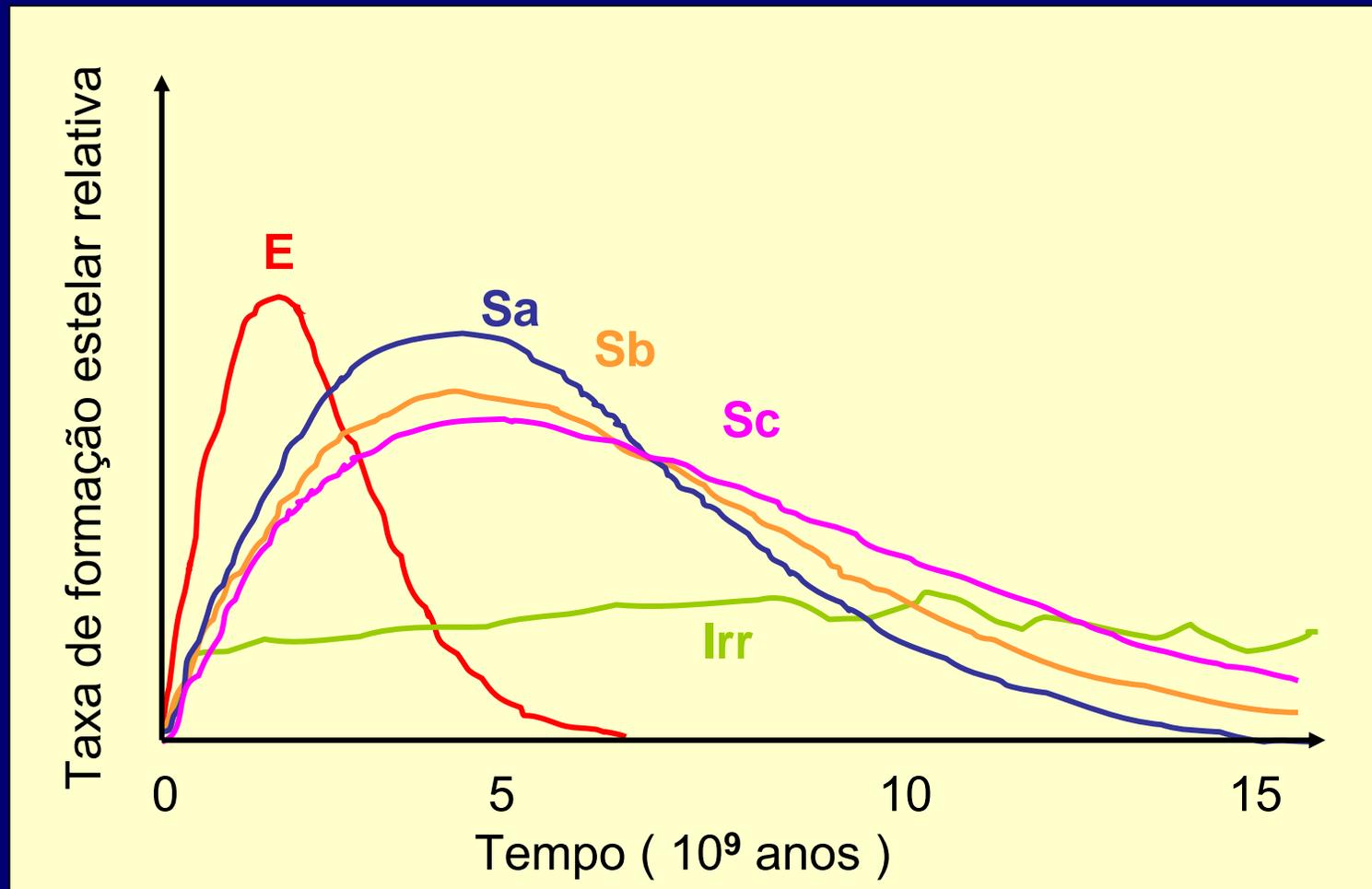


Formação estelar em galáxias (cont.)

De uma forma geral podemos esquematizar a formação estelar em galáxias, conforme o diagrama abaixo:



Formação estelar em galáxias (cont.)



A taxa de formação estelar qualitativamente representada acima, mostra sua variação ao longo do tempo desde a formação do Universo até os dias de hoje. Existe uma forte dependência desta com o tipo morfológico.

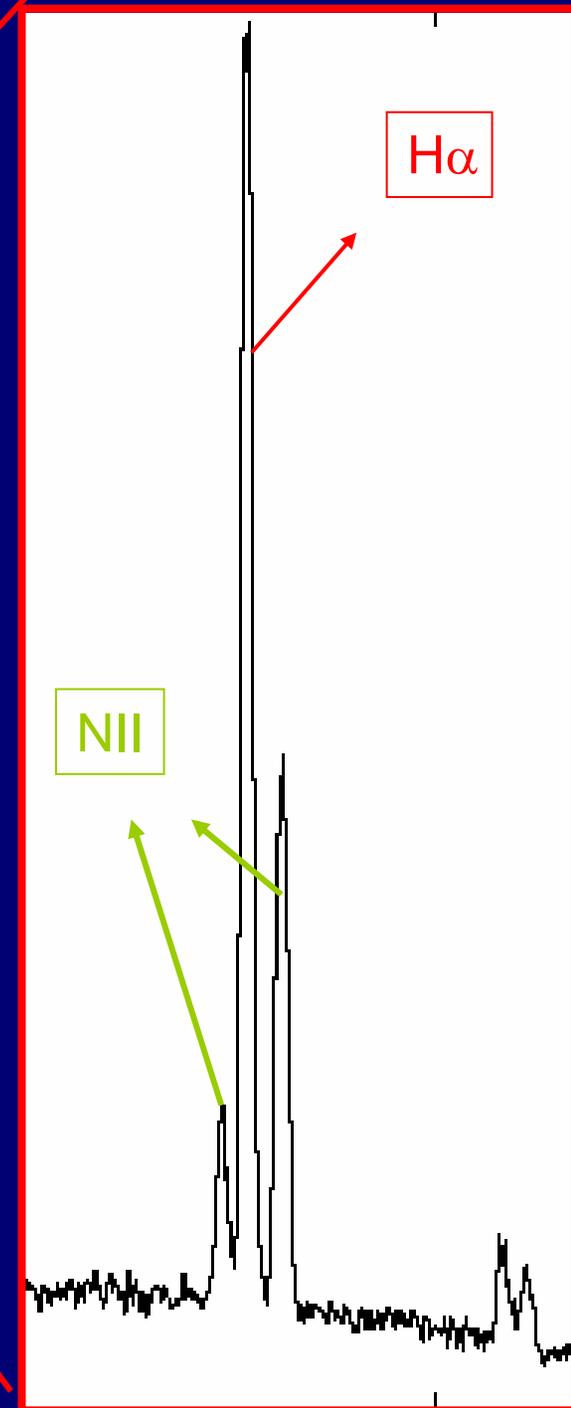
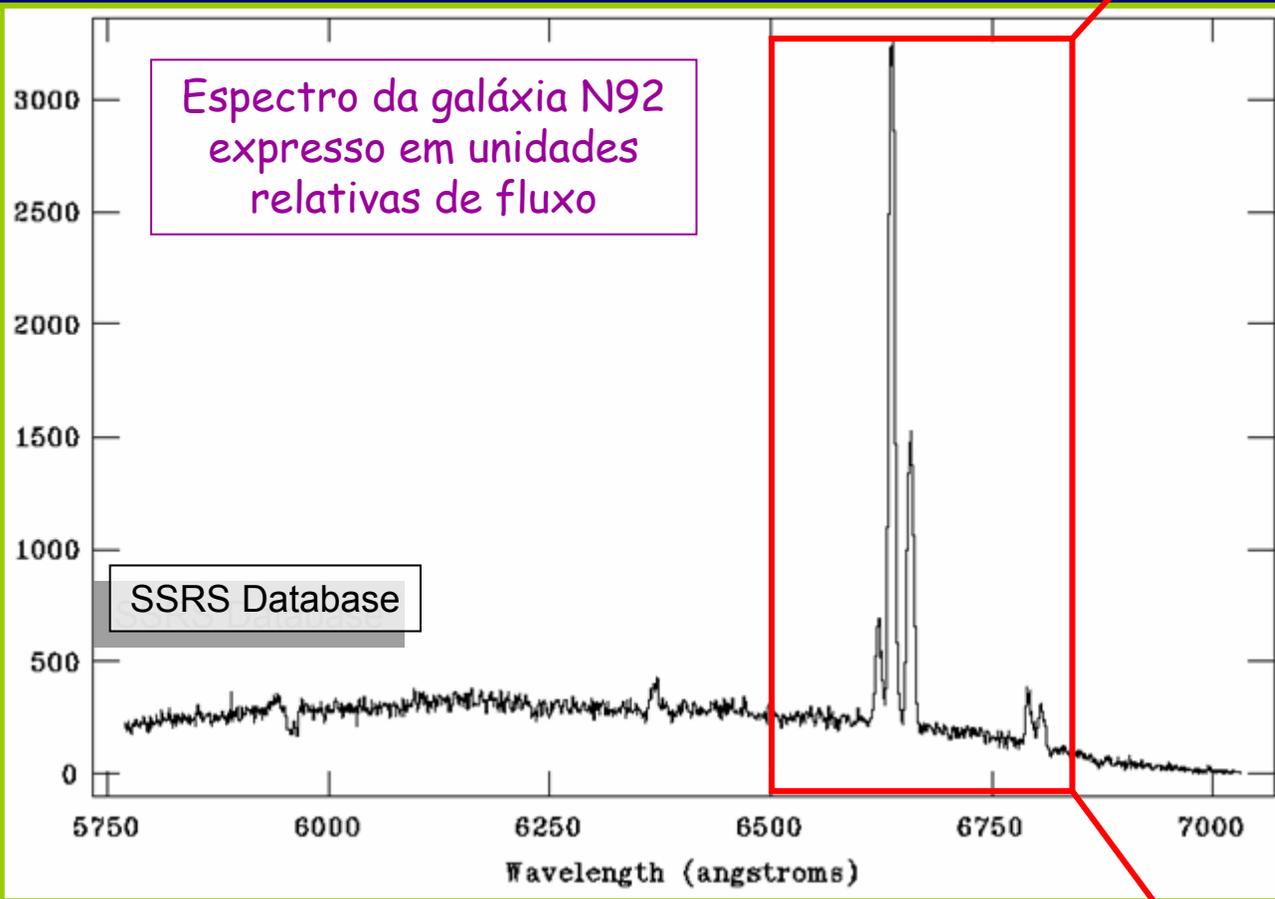
Formação estelar em galáxias (cont.)

Como quantificar a quantidade de estrelas formadas ?

A estimativa da taxa de formação estelar - SFR (número de estrelas formadas na unidade de tempo) quando comparada com outras galáxias tem que levar em conta alguma normalização pela massa ou quantidade de gás. Galáxias com atividade de formação estelar, apresentam emissão de $H\alpha$, excesso de UV, IR. Medindo estes parâmetro podemos quantificar a SFR. Alguns exemplos de estimadores de SFR estão descritos abaixo:

$$\text{SFR}(M_{\odot} \text{ ano}^{-1}) = \begin{cases} 5,9 \times 10^{-29} L_{1,42\text{GHz}} (\text{erg s}^{-1} \text{Hz}^{-1}) ; \\ 1,7 \times 10^{-28} L_{\text{UV}(1250-2500 \text{ \AA})} (\text{erg s}^{-1} \text{Hz}^{-1}) ; \\ 1,3 \times 10^{-29} L_{\text{FIR}60\mu} (\text{erg s}^{-1} \text{Hz}^{-1}) ; \\ (1,4 \pm 0,4) \times 10^{-41} L_{[\text{OII}]\lambda 3727} (\text{erg s}^{-1}) ; \\ 7.9 \times 10^{-42} L_{\text{H}\alpha} (\text{erg s}^{-1}) . \end{cases}$$

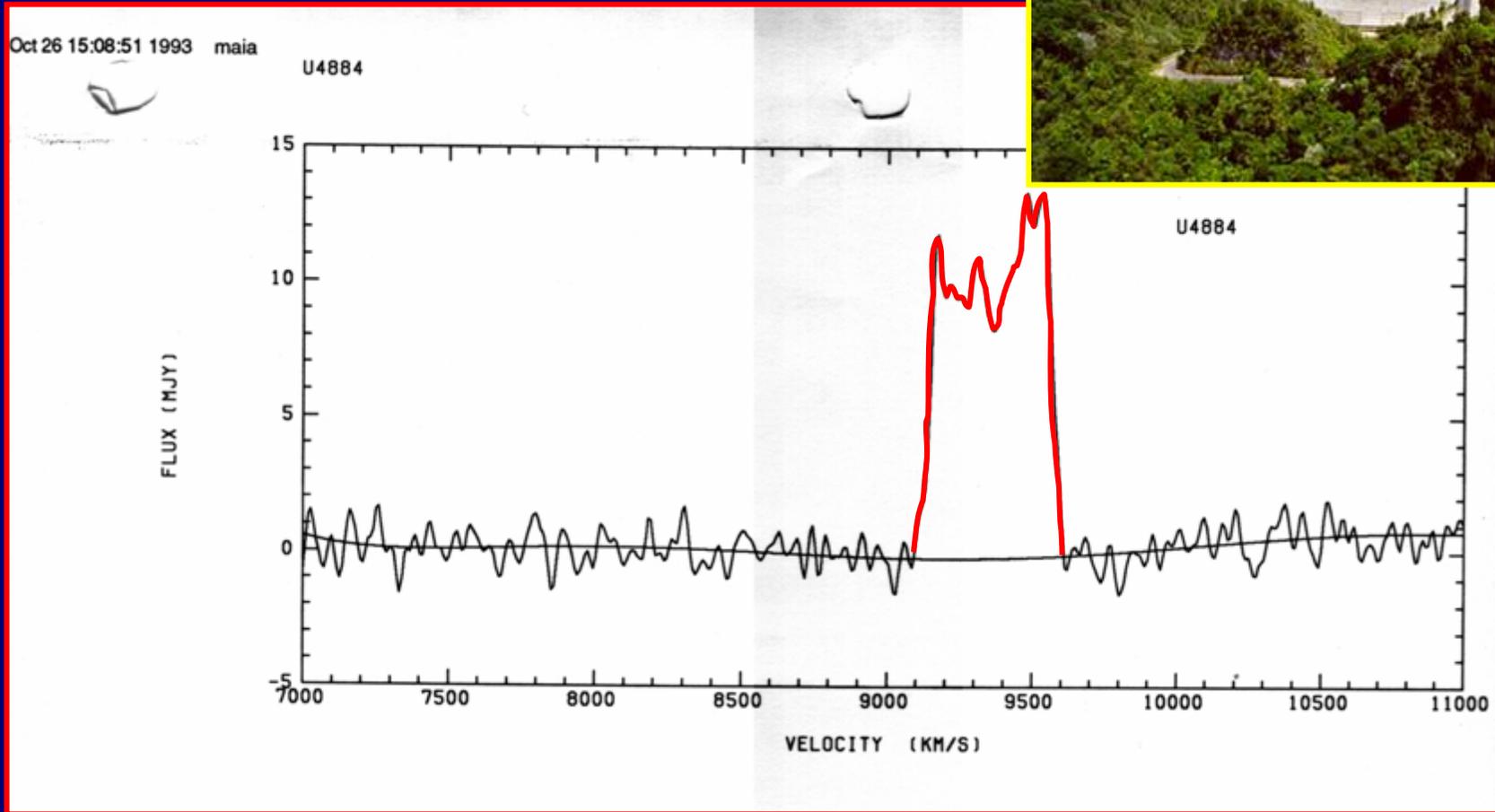
Formação estelar em galáxias (cont.)



Estimativa da SFR através da medida da intensidade da linha H α . A intensidade é proporcional a área do perfil da linha.

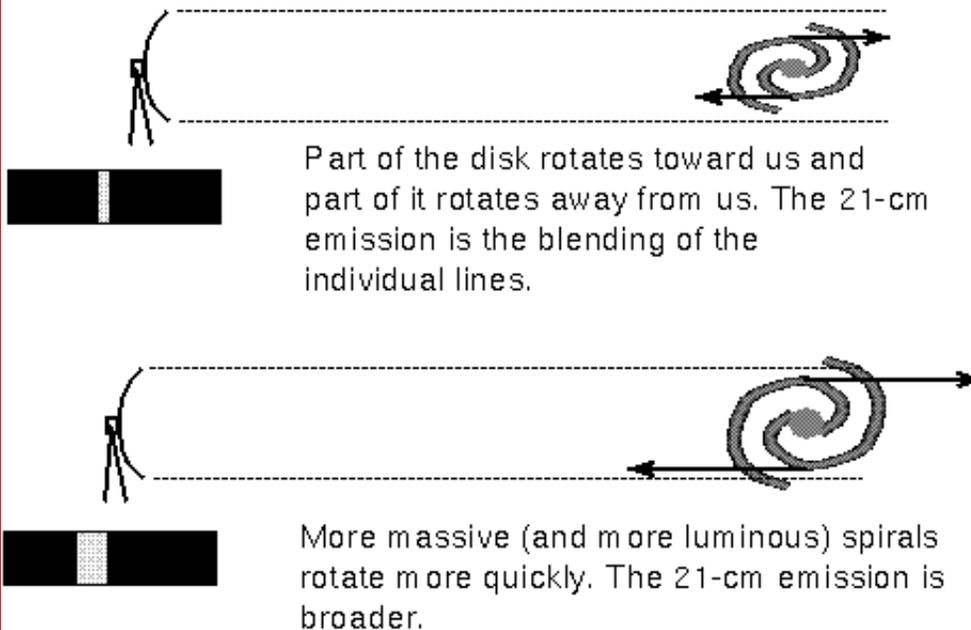
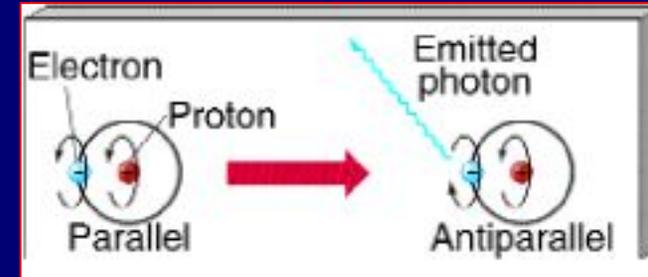
Formação estelar em galáxias (cont.)

Estimativa da SFR pode ser feita através da medida do fluxo na linha de 21 cm, como o mostrado no espectro rádio da galáxia UGC 4884, obtido com o radiotelescópio de Arecibo.



Natureza da emissão da linha de HI

A emissão rádio da linha de 21cm (1420.4 MHz) é proveniente de uma mudança na estrutura hiperfina do átomo de Hidrogênio neutro. Ela resulta da mudança do estado de mais alta energia (spins paralelos do próton e elétron) para um de mais baixa (spins antiparalelos). Esta diferença de energia entre os dois estados equivale a um fóton com $\lambda=21.049\text{cm}$.



Em uma galáxia, a distribuição de HI acaba gerando o perfil típico, como o mostrado no espectro rádio do slide anterior. Um fato importante, é o de que quanto mais massiva (mais luminosa) a galáxia, mais largo é o perfil da linha (maior sua rotação).

Galáxias Peculiares

Galáxias peculiares são aquelas que não se enquadram nos padrões normais da classificação morfológica de Hubble.

Normalmente, elas estão em algum estágio de interação com uma companheira.



Antennae

Detalhes da Antennae



Núcleos das galáxias que estão colidindo

Regiões de intensa formação estelar

Poeira

O que se aprendeu com o estudo de Antennae

Usando a imagem de Antennae, obtida com o telescópio espacial Hubble (slide anterior), foi possível identificar-se mais de 1000 aglomerados estelares jovens. Este intenso ritmo de formação de estrelas, muito superior ao normalmente encontrado em galáxias normais, foi induzido pela interação gravitacional entre os objetos que colidiram.

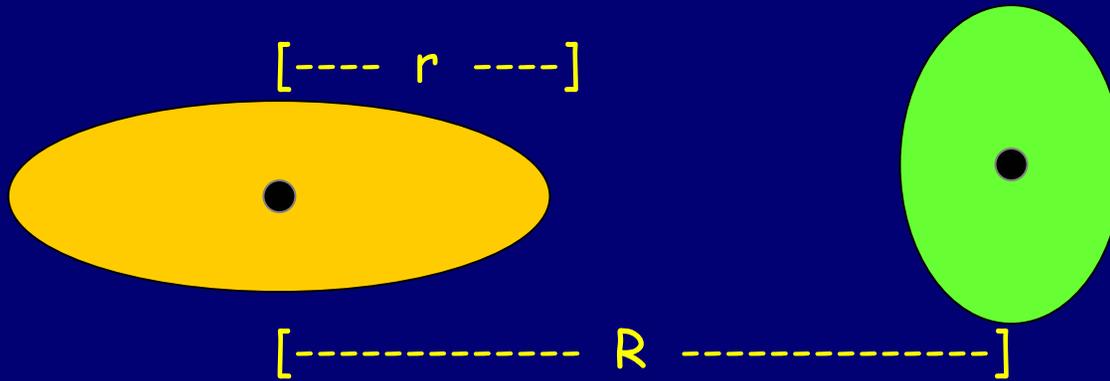
Com este estudo, mostrou-se que aglomerados globulares, podem se formar em épocas atuais, e não necessariamente serem relíquias das primeiras formações de estrelas. Isto foi possível graças a proximidade desta galáxia, e a alta qualidade de imagem do HST.

Animação mostrando a evolução de Antennae

evolve.gt

Interação entre galáxias com fortes efeitos de maré

Como funcionam as forças de maré ?



$$F_{massas} = \frac{GMm}{R^2}$$

$$F_{perto} = \frac{GMm}{(R-r)^2}$$

$$F_{longe} = \frac{GMm}{(R+r)^2}$$

$$F_{maré} \propto \frac{GMmr}{R^3}$$

As forças de maré atuam como uma tensão interna à galáxia, podendo até levar a ruptura desta, se a companheira que estiver produzindo as forças for muito massiva.

Estamos livres do perigo ????

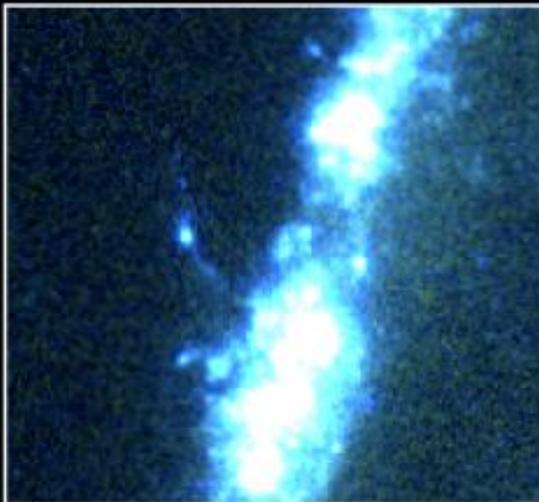
Andrômeda x Galáxia



Esta simulação mostra os efeitos da colisão entre a Via Láctea e Andrômeda. A fusão das duas deve ocorrer por volta de mais 5 bilhões de anos. No processo as órbitas das estrelas serão rearranjadas e no final, deveremos ter um objeto de forma esferoidal. Não se espera colisões de estrelas devido as grandes separações entre estas.

Galáxias Peculiares ...

Roda de Carreta



Cartwheel Galaxy

PR95-02 · ST Scl OPO · January 1995 · K. Borne (ST Scl), NASA

Galáxia que foi atravessada por outra bem menor, possivelmente uma das duas que estão à direita, produzindo um surto de formação estelar pela perturbação no gás e poeira do meio interestelar.

Mais Galáxias Peculiares ...

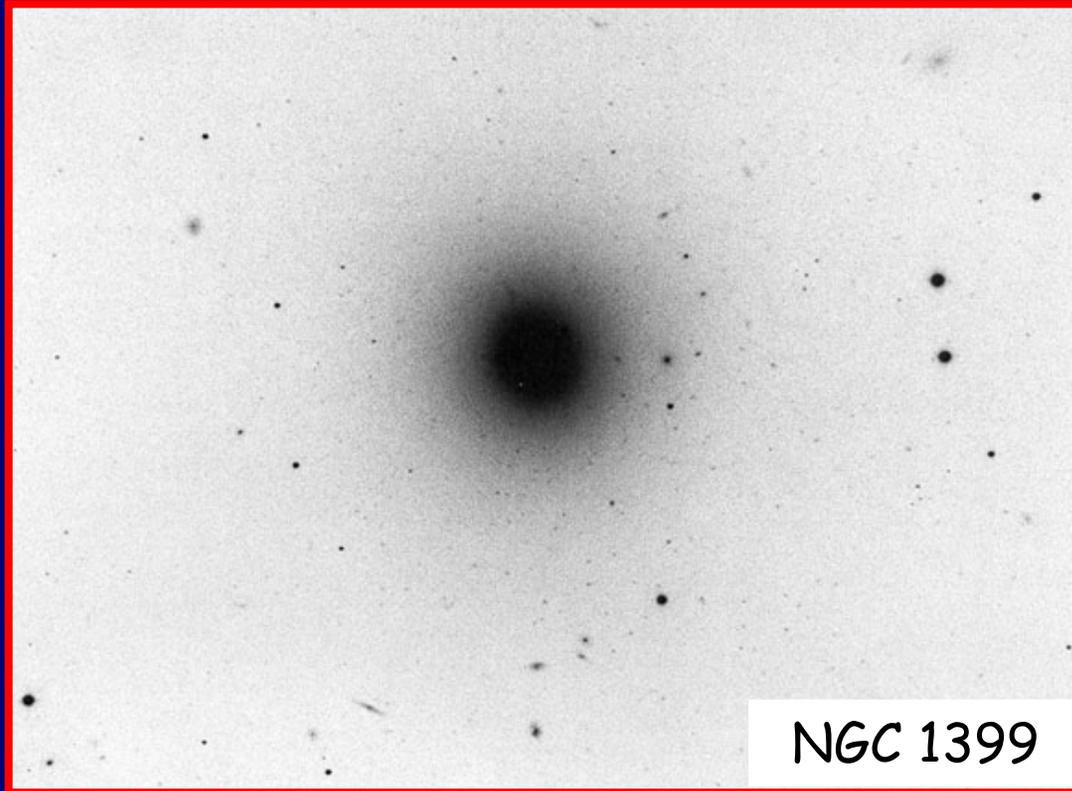
Esta galáxia é de um tipo denominado "polar-ring". São raras, resultando de um processo de colisão entre duas galáxias, sendo uma espiral e outra elíptica.

← Resto de uma galáxia lenticular no centro.

← Anel formado por gás e estrelas, do que outrora foi uma galáxia espiral.

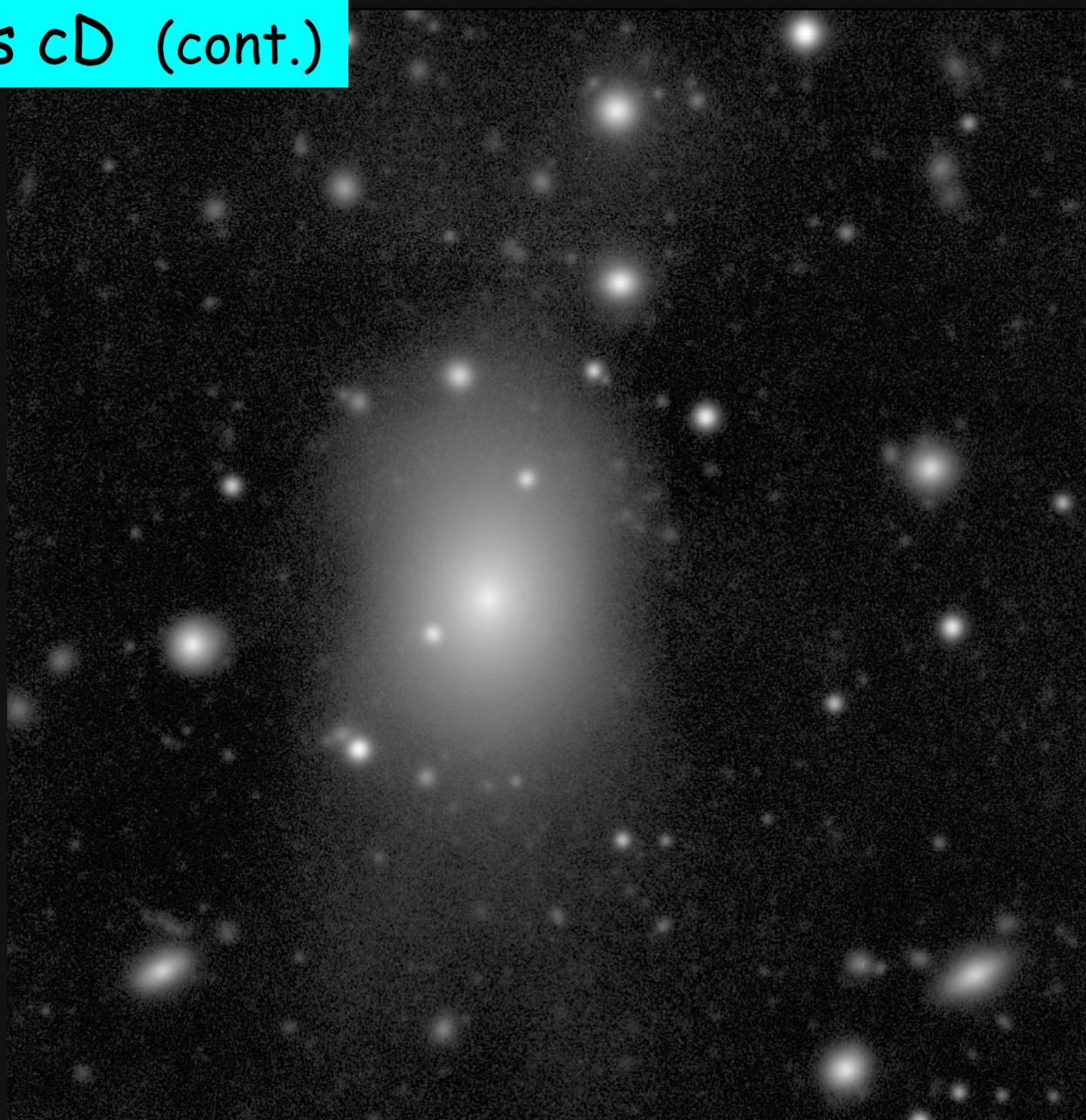
NGC 4650A

Galáxias cD



Este é, talvez, o caso mais drástico do efeito do meio ambiente sobre uma galáxia. No centro de aglomerados massivos residem galáxias chamadas de cD, resultado de numerosos processos de aglutinação. Chegam a possuir dimensões de até 1 Mpc, e $M_B \sim -22$ a -25 . Suas massas estão entre 10^{13} - $10^{14} M_{\text{sol}}$. Outra característica é a presença de uma região central de alto brilho superficial e um extenso envelope difuso. Apresentam alta razão M/L (indício de muita matéria escura).

Galáxias cD (cont.)



cD Galaxy in Abell496 Field (MPG/ESO 2.2-m + WFI)

ESO PR Photo 46h/99 (21 December 1999)

© European Southern Observatory



Animação de formação de uma cD

Radiogaláxias

glo

Centaurus A (óptico)

Centaurus A (rádio)

Radiogaláxias: São aquelas que apresentam forte emissão em rádio, sendo apenas 1% de todas as galáxias (e 10% dos AGNs).

Um Raio-X de Centaurus A

Raios-x

Rádio contínuo (21cm)

Rádio HI (21cm)

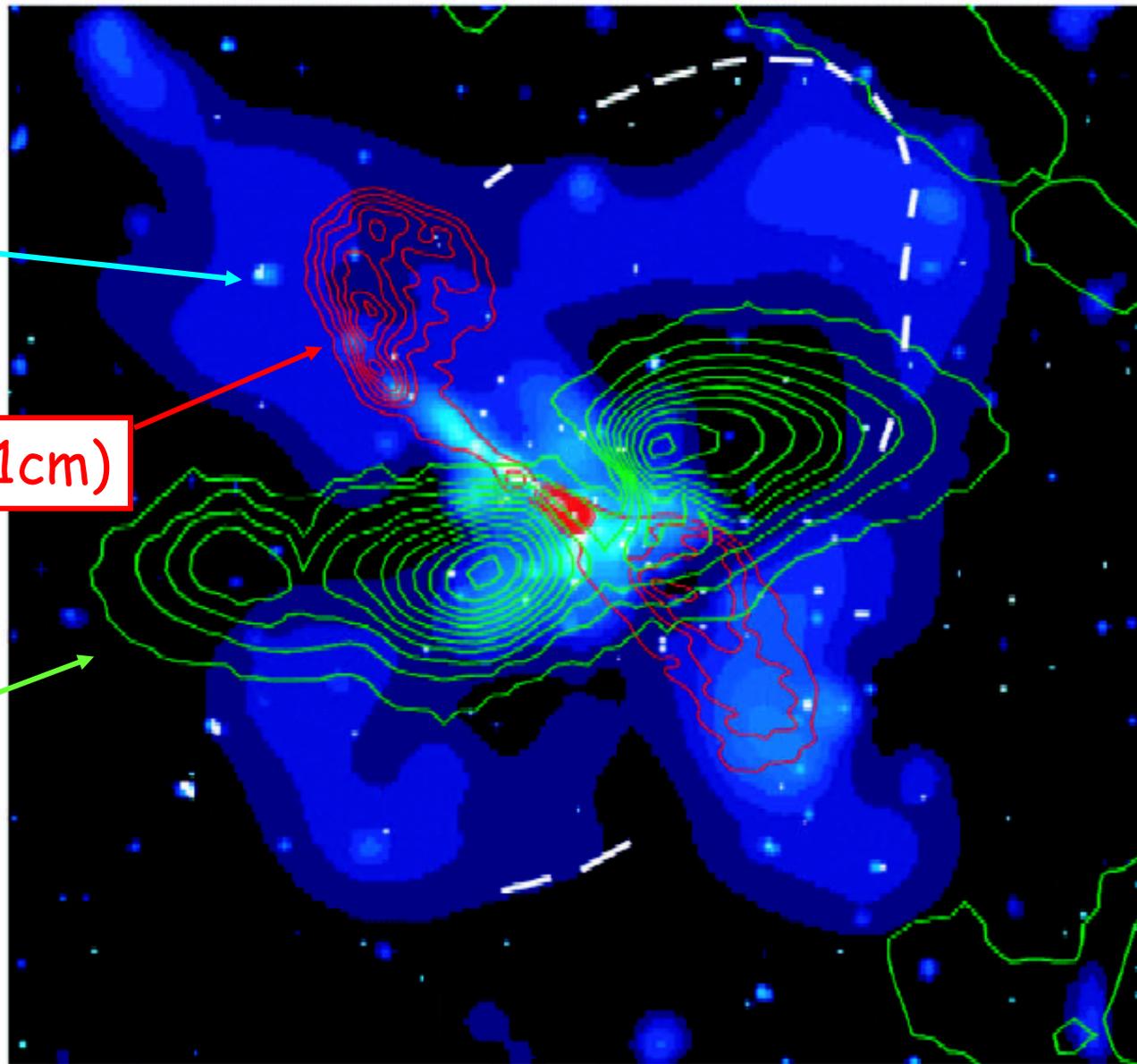
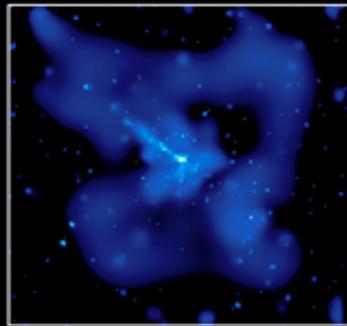


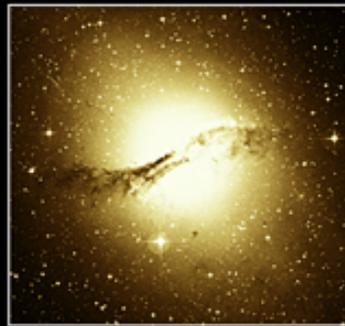
FIG. 2.—Cen A HRC-I X-ray image (*dark blue*) with superposed the VLA 21 cm radio continuum map of the inner jet lobes (*red contours*) and the VLA radio 21 cm line H I gas emission (Schiminovich et al. 1994; *green contours*). The white dashed line is a schematic outline of the optical arclike shell we detected in the enhanced blue DSS images. North is up and east is to the left.

Um Raio-X de Centaurus A

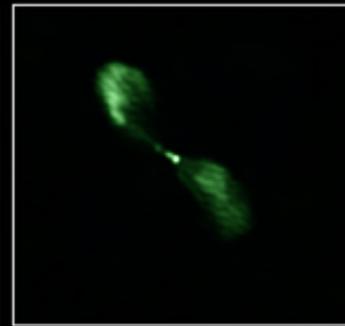
Utilizando cores falsas para representar distintas faixas do espectro eletromagnético, é possível combinar as observações de vários instrumentos e em diferentes bandas espectrais para se criar uma imagem composta mostrando como seria "vista" a galáxia Centaurus A em uma ampla faixa de frequências. Os mecanismos que produzem a emissão em cada um destes intervalos são distintos.



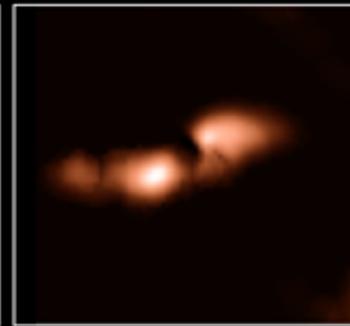
CHANDRA X-RAY



DSS OPTICAL



NRAO RADIO
CONTINUUM



NRAO RADIO
(21-CM)

Como se formou a galáxia Centaurus A



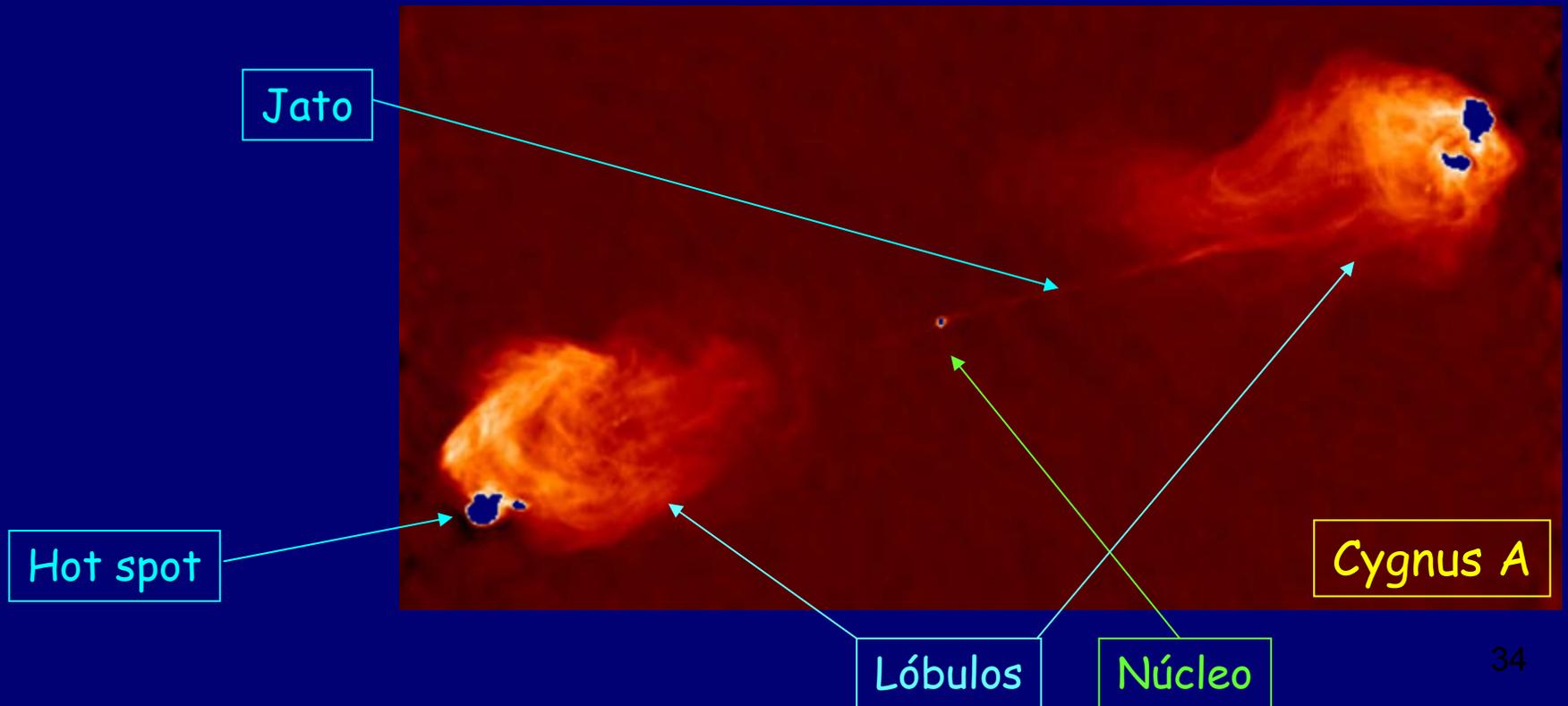
simulação

Radiogaláxias (cont.)

São galáxias com intenso brilho em rádio, apresentando um núcleo brilhante e pontual no visível. Existem duas classes de radiogaláxias, classificadas de acordo com a largura das linhas de emissão de seu espectro óptico:

Broad-line radio galaxies (BLRG) - encontram-se em galáxias tipo N (núcleo brilhante) circundadas por um envelope muito fraco;

Narrow-line radio galaxies (NLRG) - são gigantes elípticas (cD, D e E). Exemplo desta categoria é *Cygnus A*, mostrada abaixo.



Morfologia de radiogaláxias

Mon. Not. R. astr. Soc. (1974) **167**, *Short Communication*, 31P-35P.

THE MORPHOLOGY OF EXTRAGALACTIC RADIO
SOURCES OF HIGH AND LOW LUMINOSITY

B. L. Fanaroff and J. M. Riley

(iv) Class of source:

I—Low brightness regions further from the galaxy than the high brightness regions.

II—High brightness regions further from the galaxy than the low brightness regions.

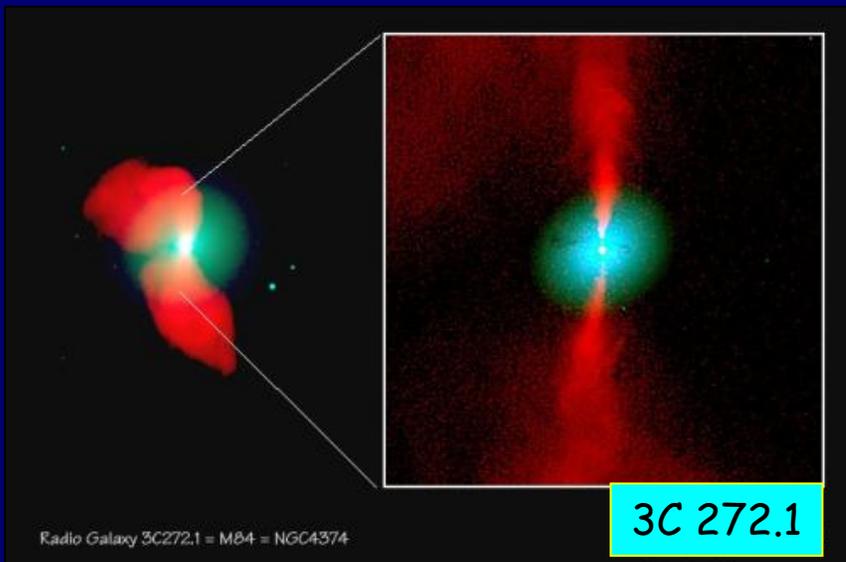
FR I - São menos luminosas, *two-sided jet* com a parte mais brilhante próxima ao núcleo. Lóbulos fracos.

FR II - São mais luminosas, lóbulos brilhantes, *one-sided jet*. Ainda apresentam as sub-classes **A** (linhas de alta excitação) e **B** (linhas de baixa excitação).

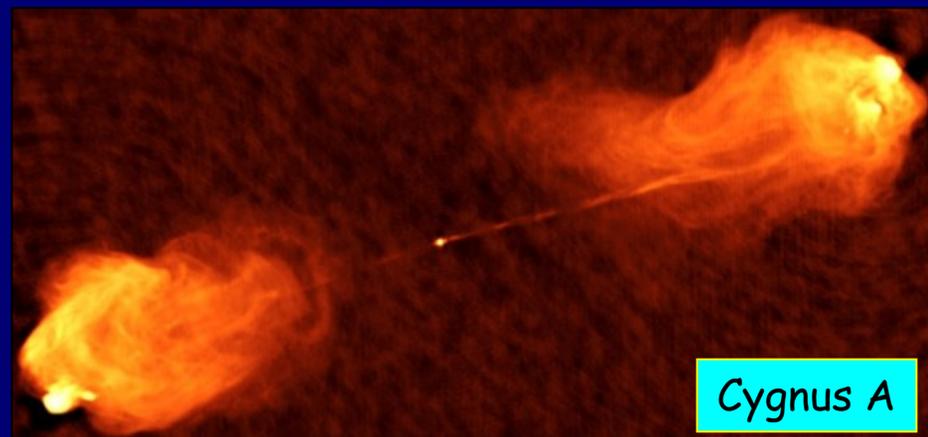
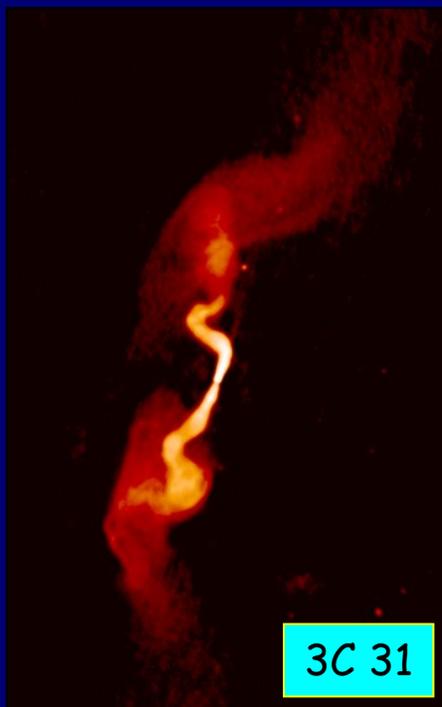
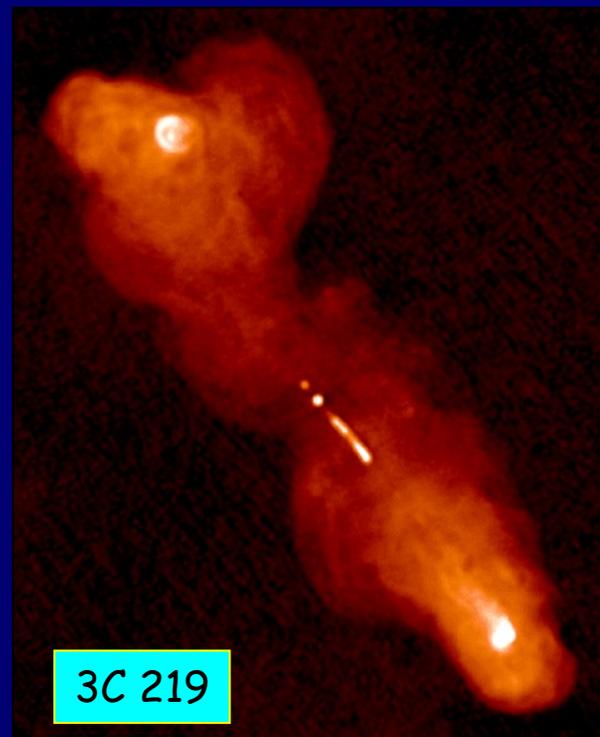
NLRG --> FR I ou FR II

BLRG --> somente FR II

FR I

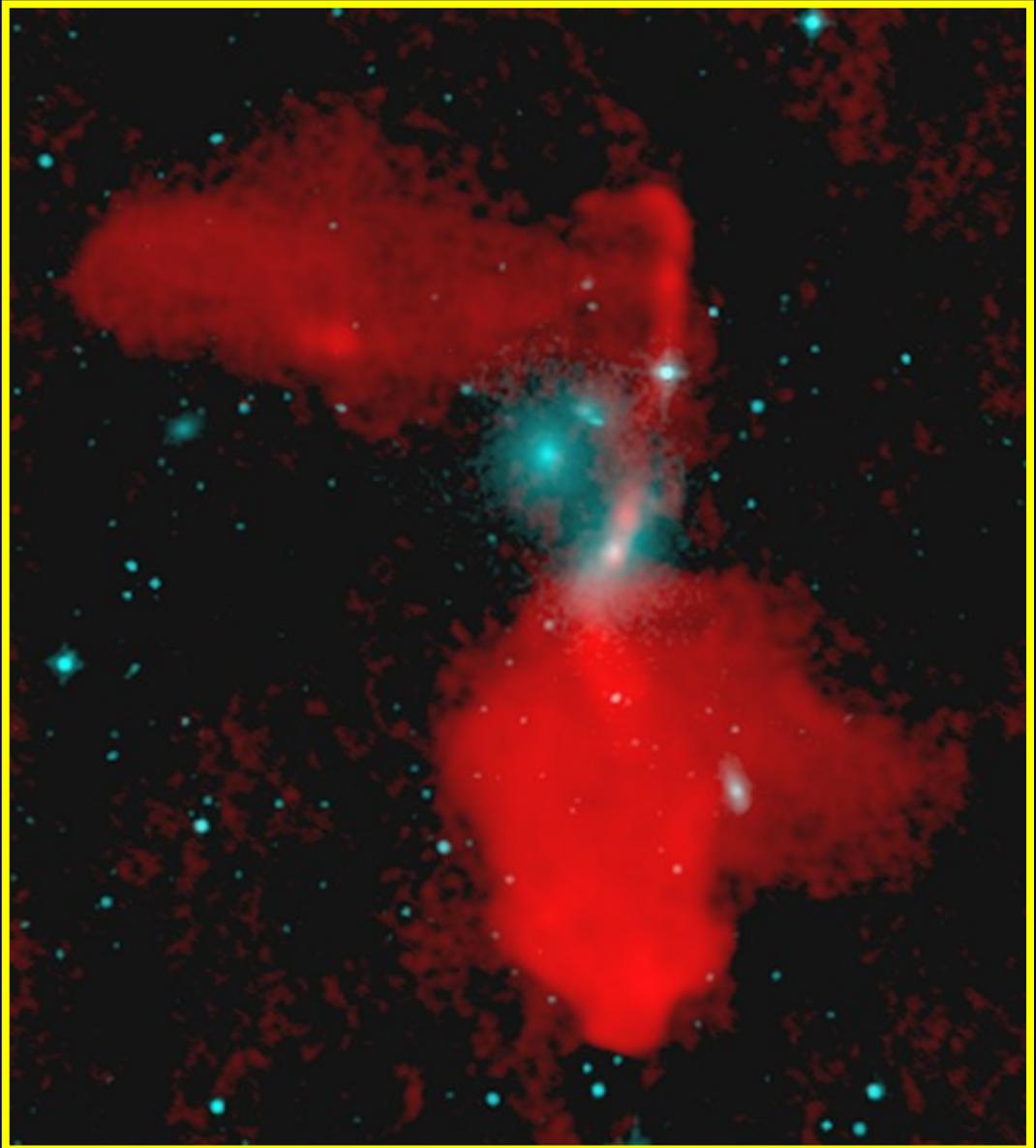


FR II



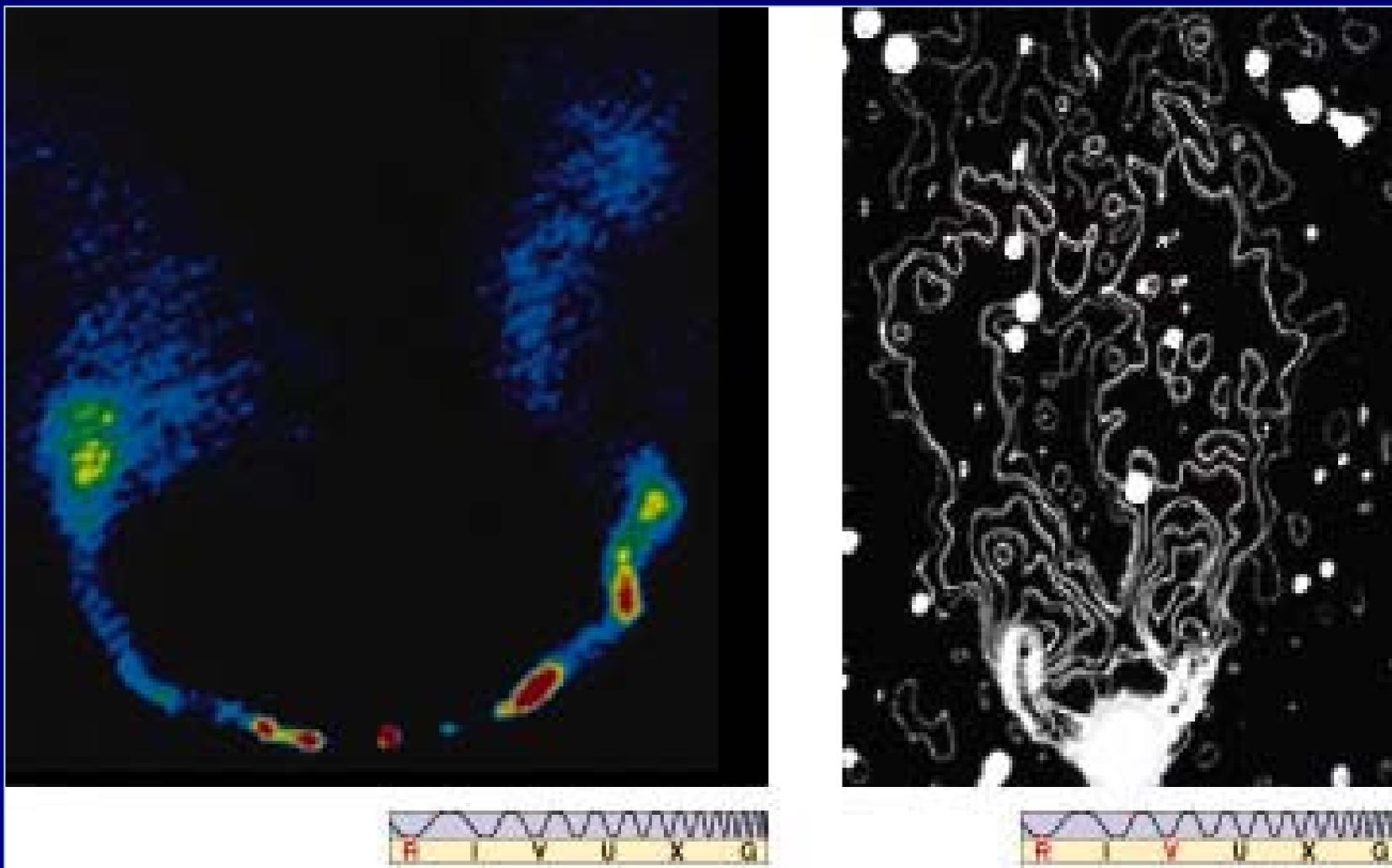


Nem todas são facilmente classificáveis!



3C 433

Radiogaláxias (cont.)



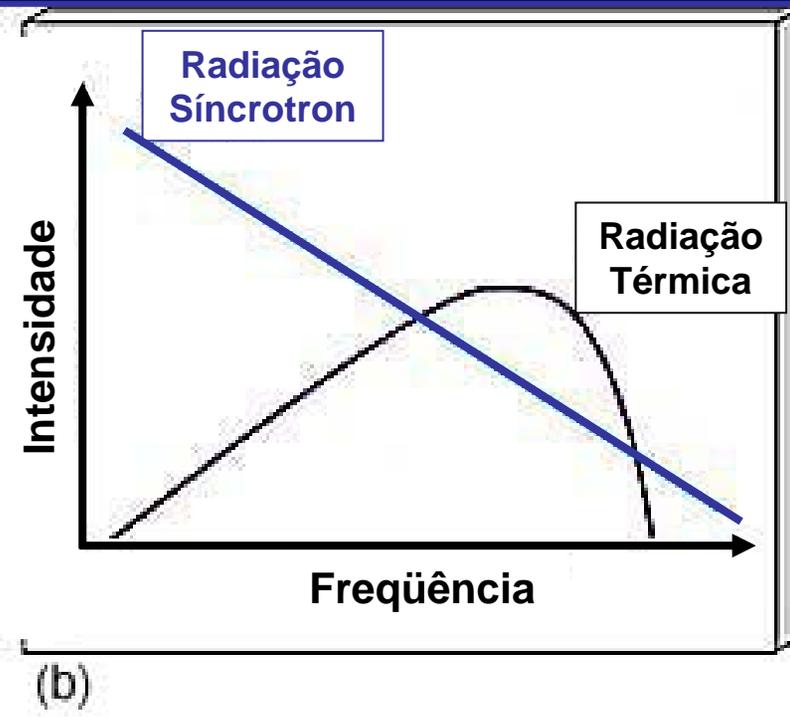
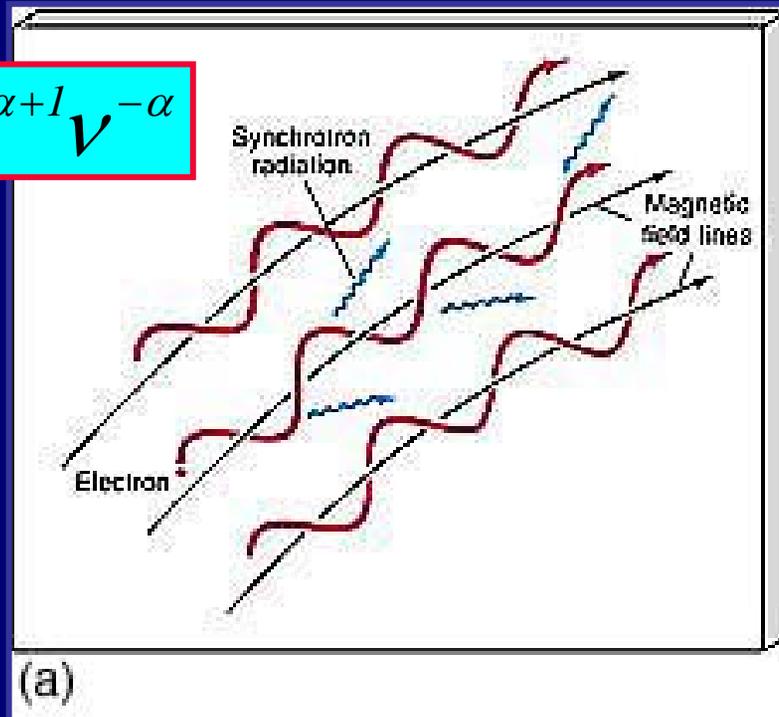
NGC 1265 - Galáxia com jatos rádio curvados devido ao movimento rápido em um meio com algum gás provocando resistência ao seu deslocamento.

Mas afinal, o que são galáxias ativas ????

São galáxias que produzem em seus núcleos quantidades de energia acima do normal, tanto no óptico, como na faixa rádio, UV, raios-x, e gama. Esta fonte primária de energia é dita não térmica.

$$L \propto B^{\alpha+1} v^{-\alpha}$$

$$\alpha \sim 0.5-1$$



Radiação Síncrotron - Radiação *não térmica*, produzida por partículas carregadas em alta velocidade na presença de campos magnéticos intensos. Esta radiação também é produzida na explosão de supernovas, e em manchas solares.

Radiação Síncrotron

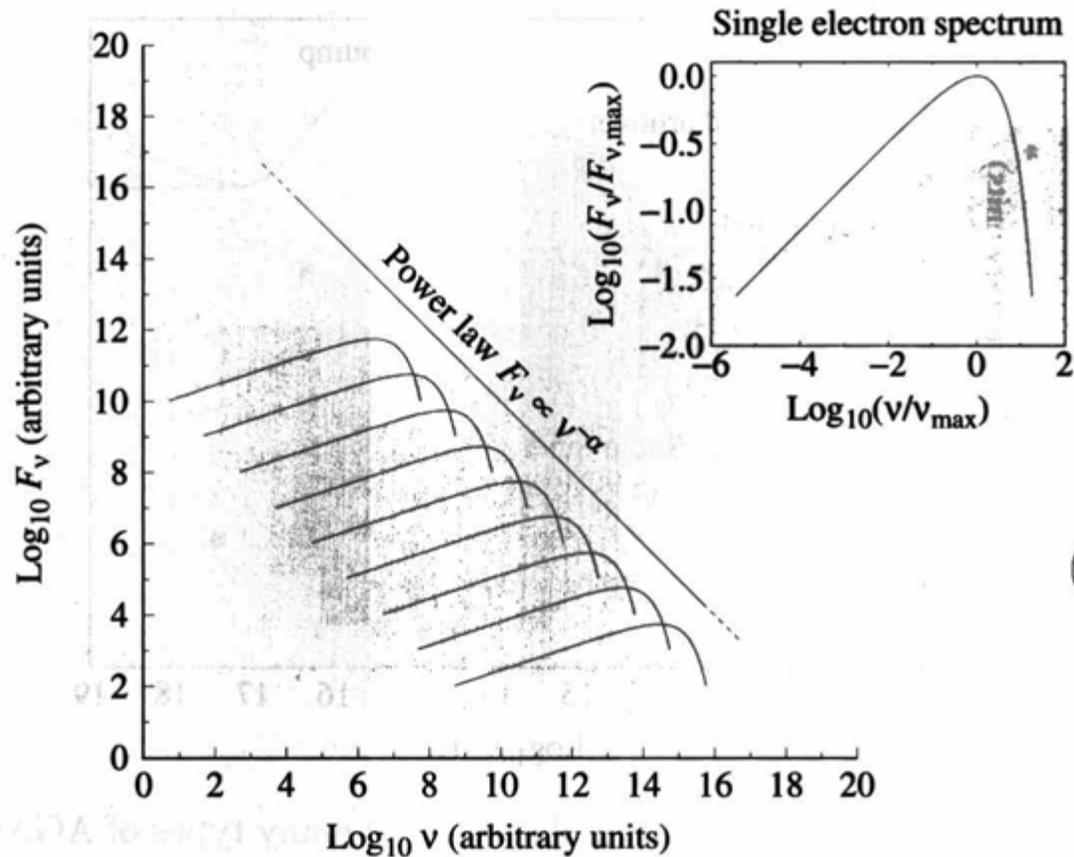
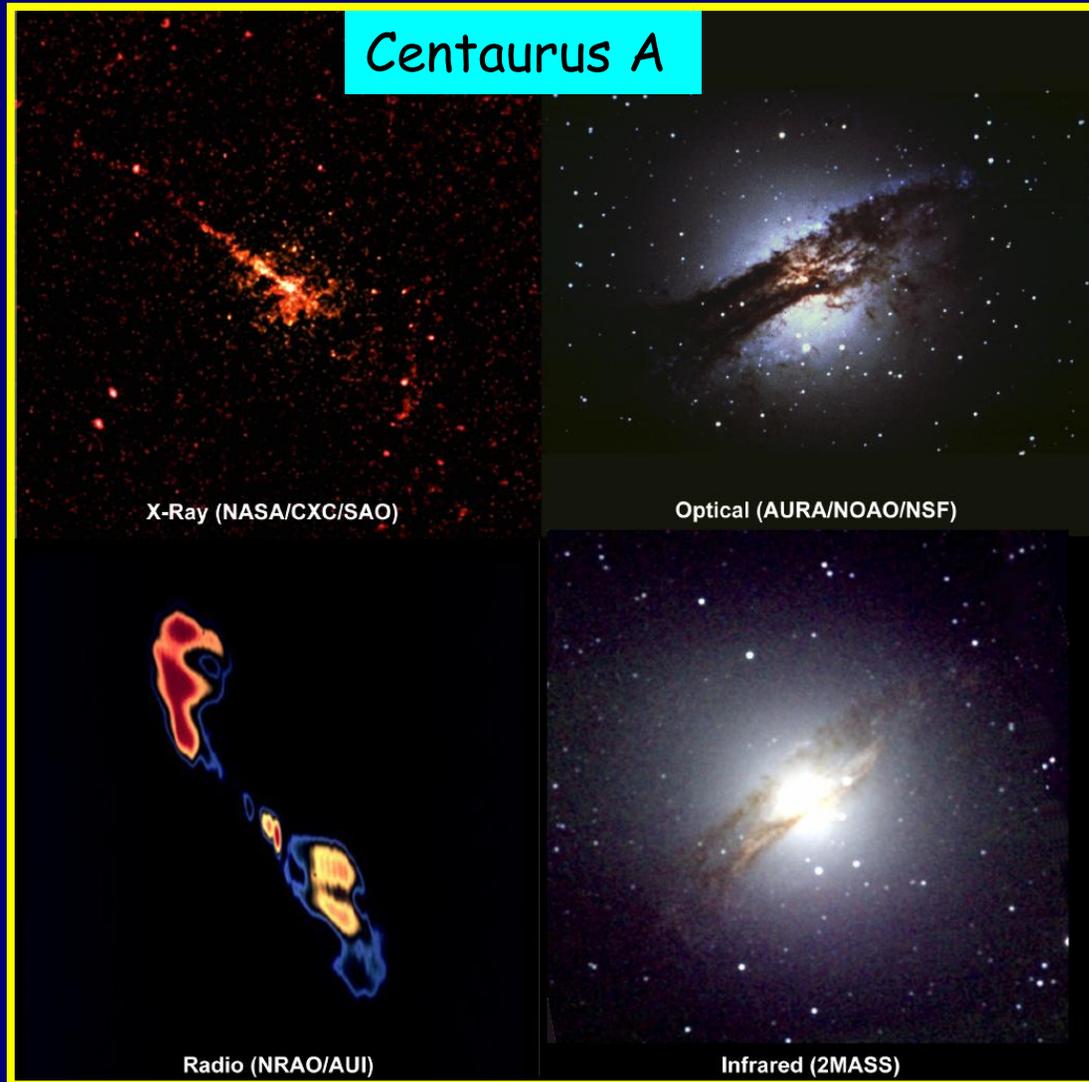


Figure 26.5 The power-law spectrum of synchrotron radiation, shown as the sum of the radiation produced by individual electrons as they spiral around magnetic field lines. The spectrum of a single electron is at the upper right. The turnover at low frequencies due to synchrotron self-absorption is not shown.

Galáxias com Núcleo Ativo - AGNs*

Estão incluídos nesta categoria: Galáxias Seyfert, Radiogaláxias, Quasares e Blazares.



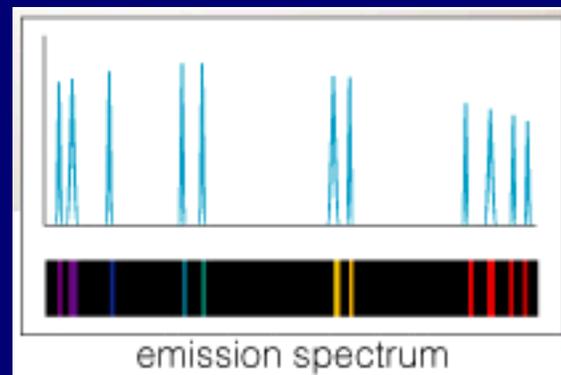
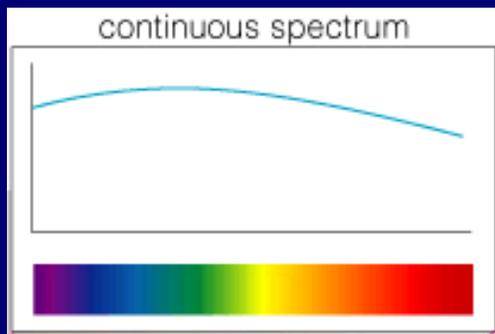
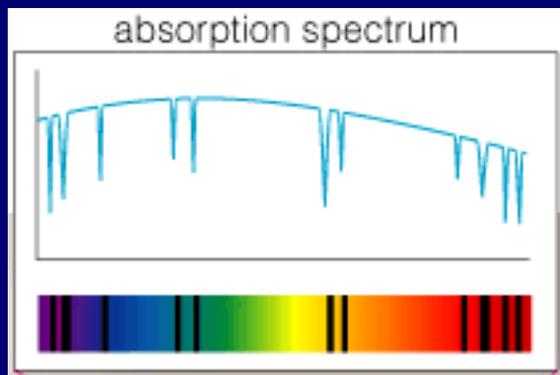
Na tentativa de se examinar se algumas das "nebulosas espirais" seriam similares às nebulosas distribuídas dentro de nossa Galáxia ...



=



?



Carl Seyfert nos anos 40, começou a se dedicar a questão das linhas de emissão das galáxias, embora não tenha proposto um modelo para sua explicação. Descobrimos que algumas possuem linhas de emissão muito largas, atribuiu a largura destas ao efeito Doppler. Mais tarde um tipo de galáxias ativas recebeu seu nome.

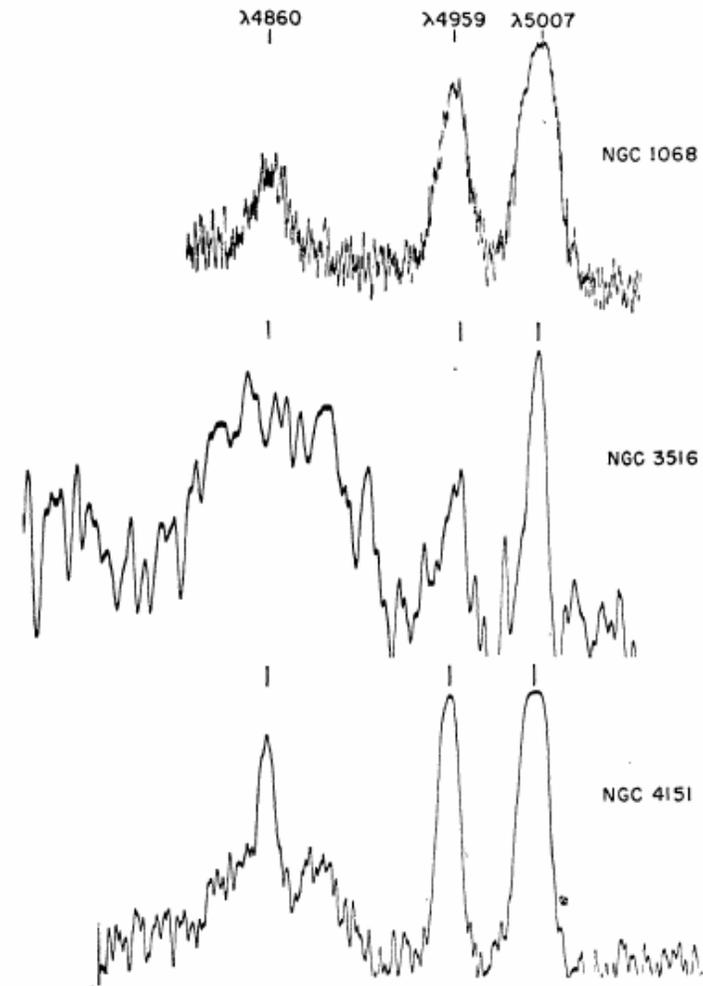


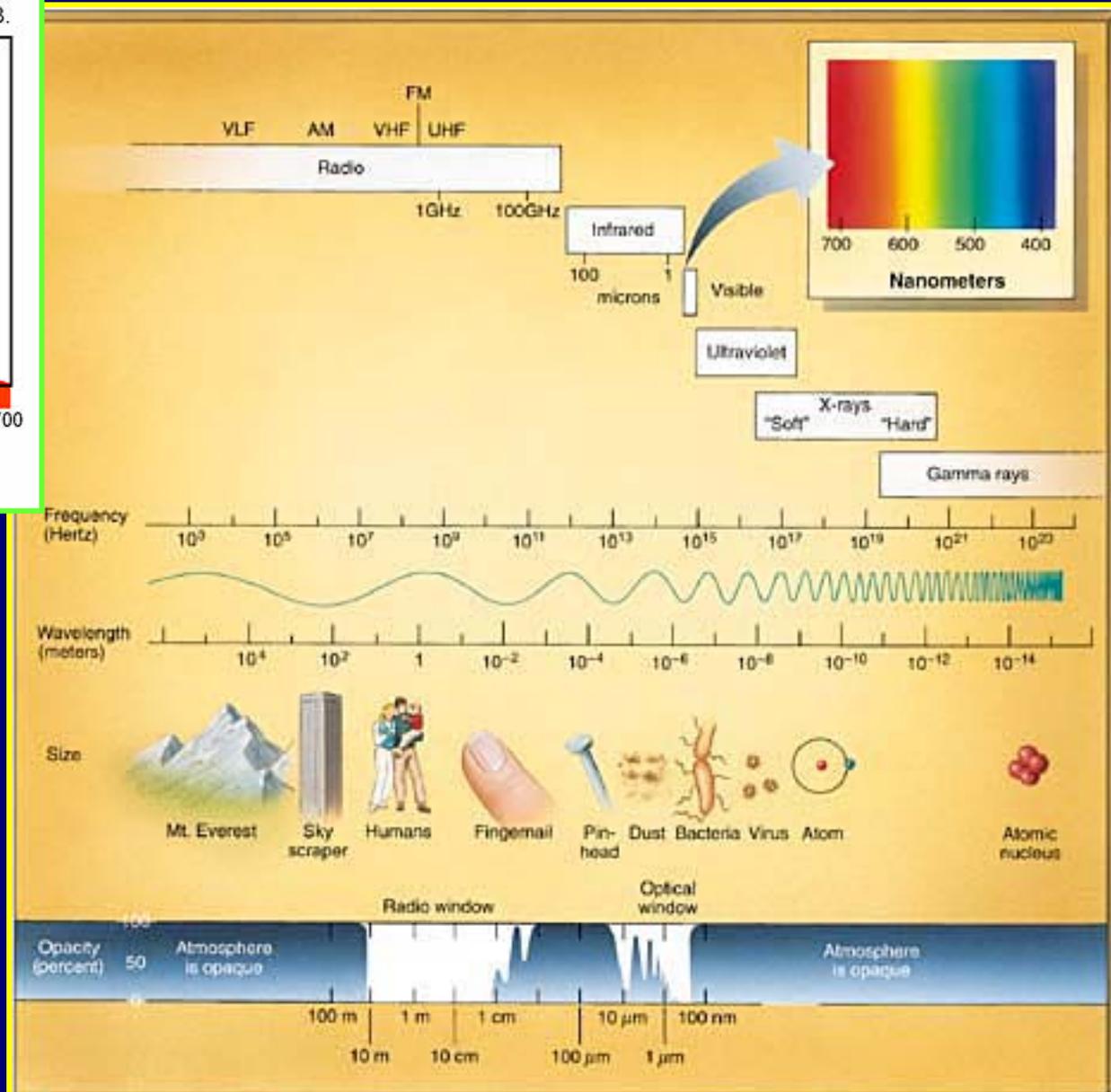
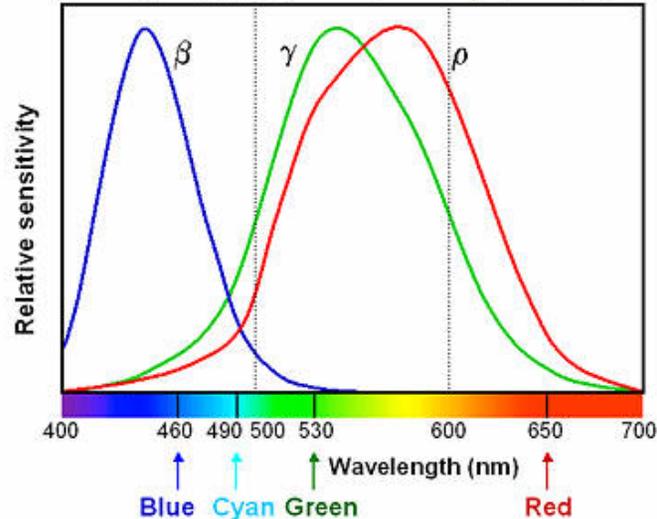
FIG. 1.—Microphotometer tracings of the emission lines $\lambda\lambda$ 4860 ($H\beta$), 4959 and 5007 [$O\text{ III}$] in the nebulae NGC 1068, 3516, and 4151.

Foi com a descoberta dos *quasares* (através de observações em rádio) e a busca pelas suas contrapartidas ópticas que o estudo de *AGNs-Active Galactic Nuclei* deslançou.

Olhando galáxias com "outros olhos"...

Human spectral sensitivity to color

Three cone types (ρ , γ , β) correspond *roughly* to R, G, B.

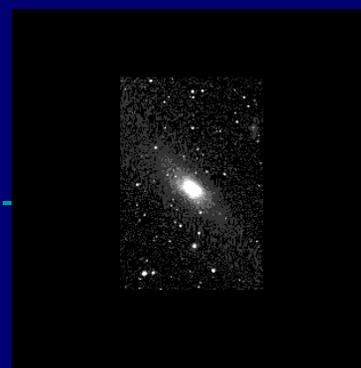




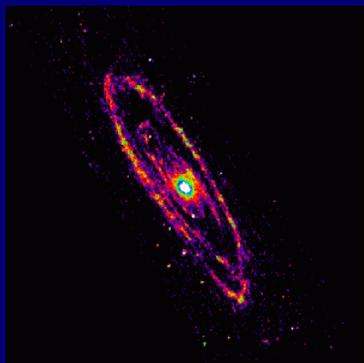
Visível



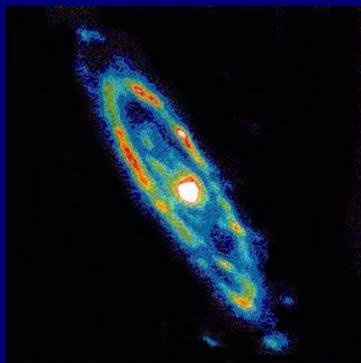
Visível: Cor



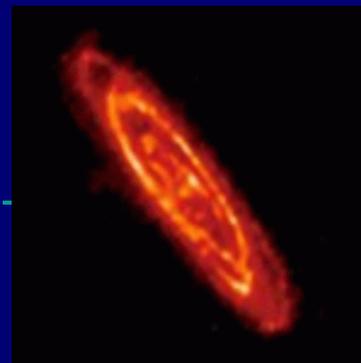
Visível



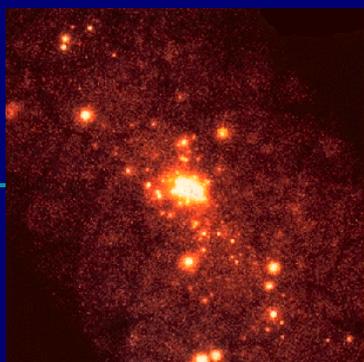
MIR 8.3 microns



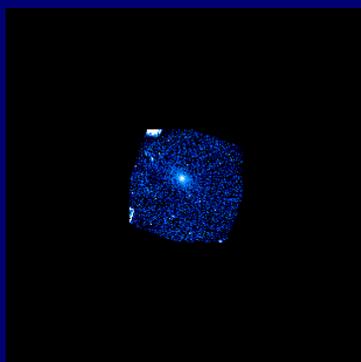
MIR IRAS



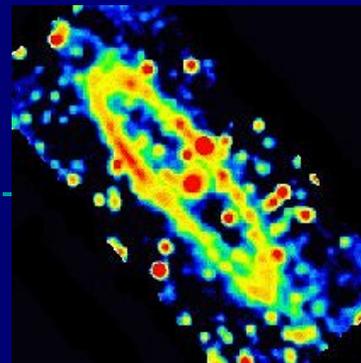
FIR ISO



Raios-x ROSAT



UV ASTRO-1 UIT



Rádio Effelsberg



Visível



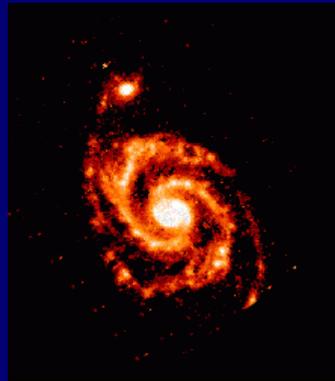
Visível



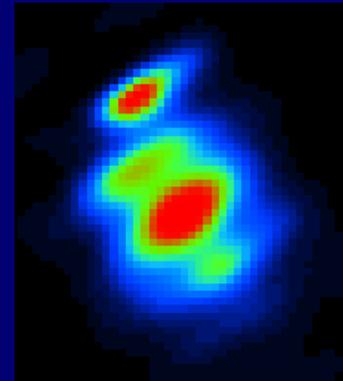
Visível



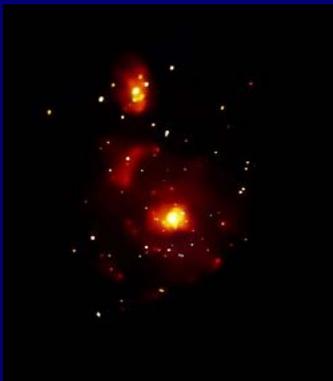
NIR: 2MASS



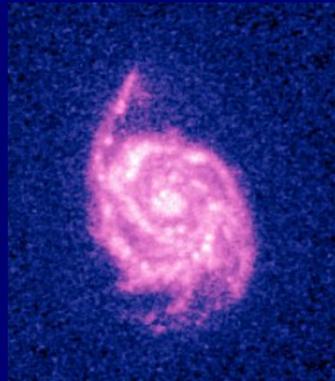
Mid-Infrared: ISO



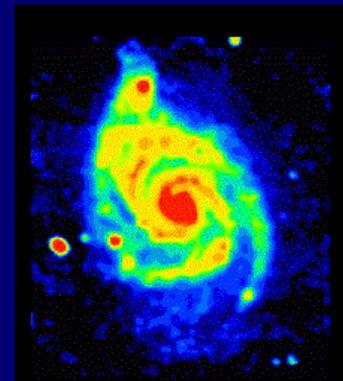
Far-Infrared: IRAS



Raios-x: Chandra

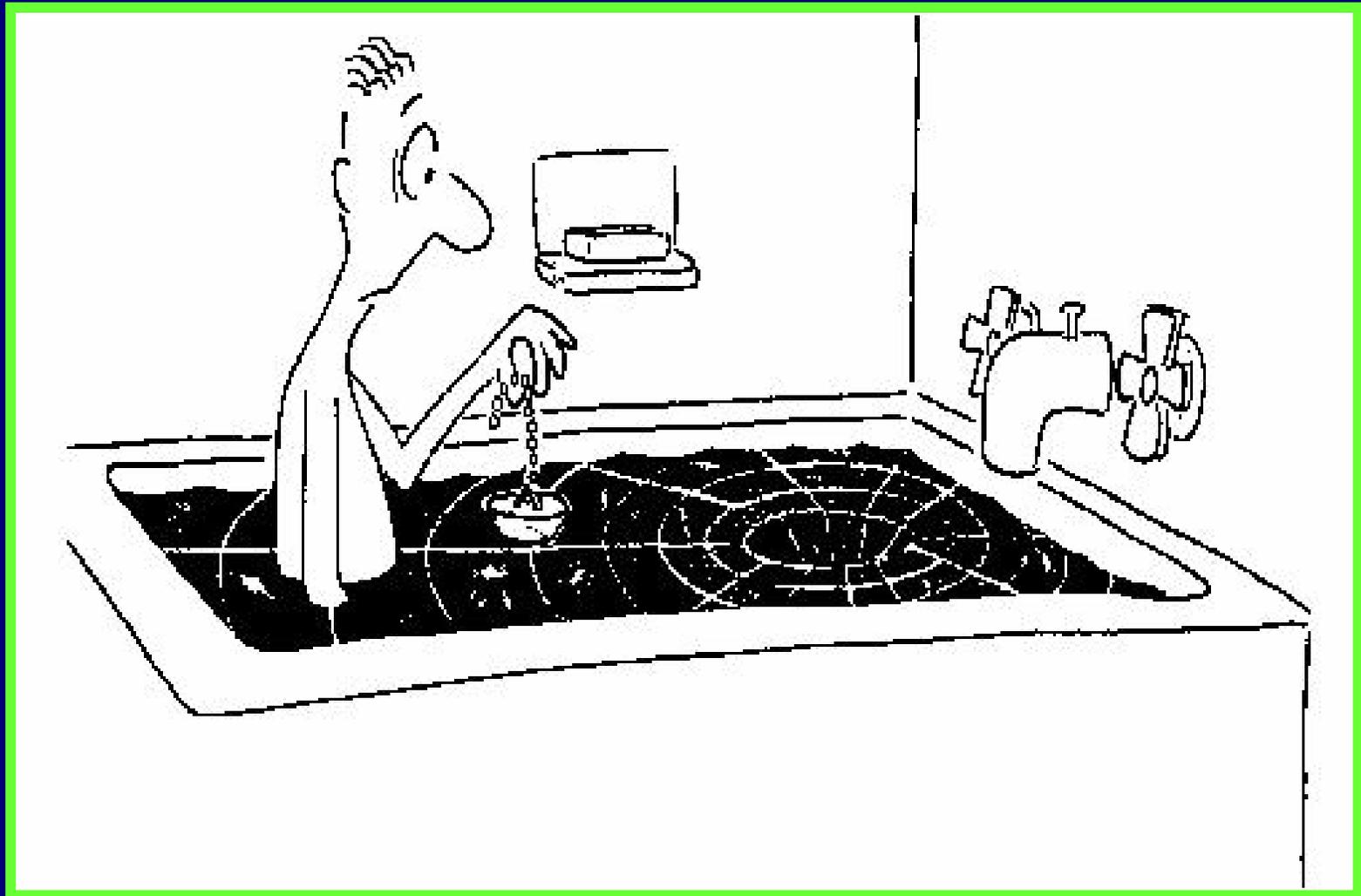


UV: FOCA/CNRS

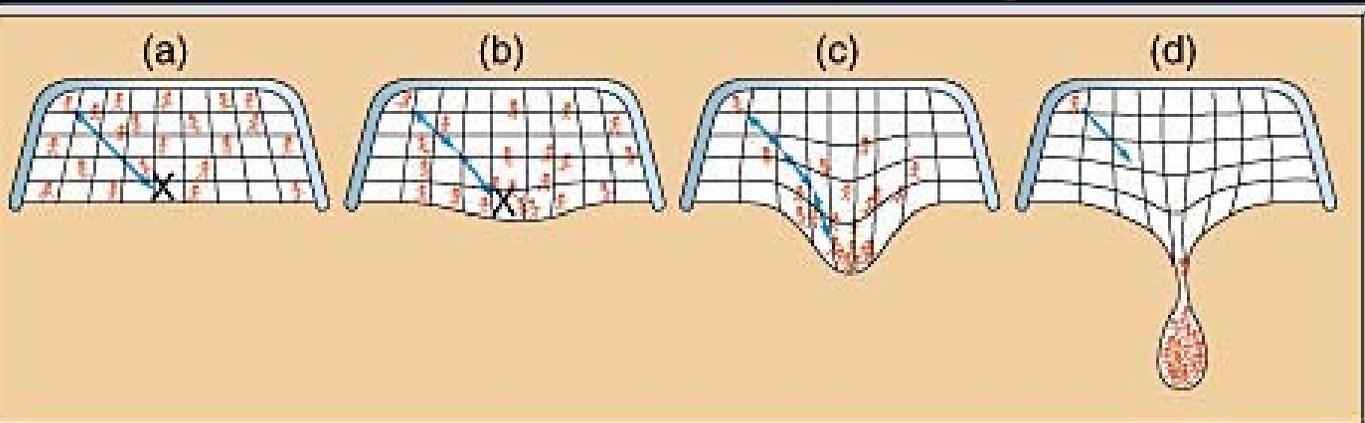


Rádio: VLA

Explicando de onde vem toda esta energia



Buraco Negro



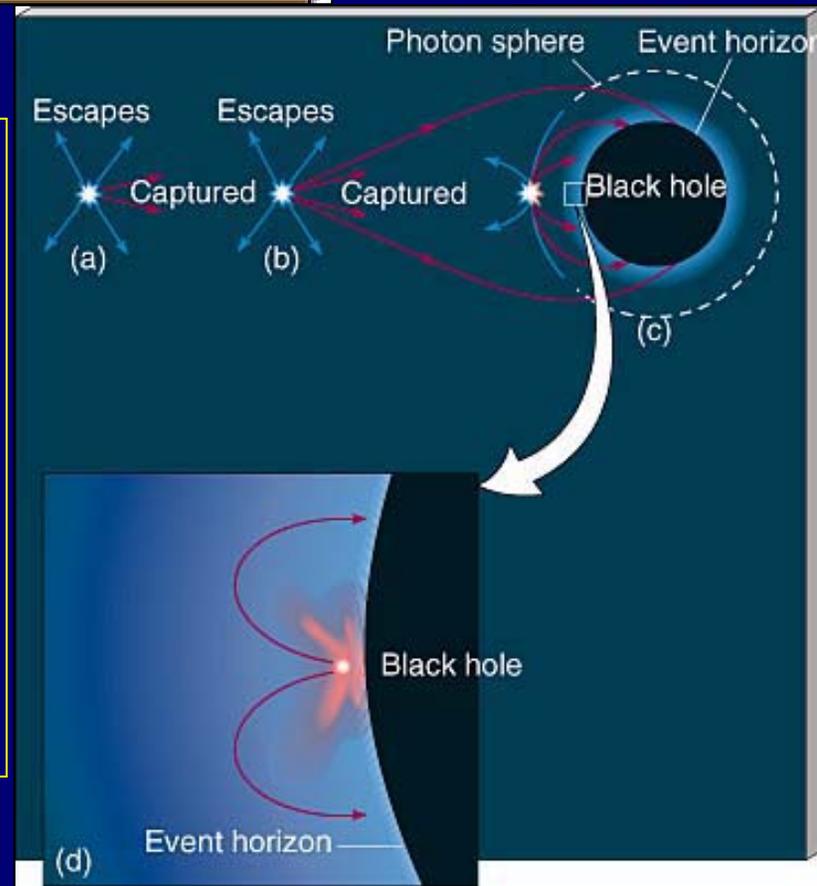
Raio de Schwarzschild

Energ. Potencial Gravit. = Energ. Cinética
 $GMm/R = mv^2/2 = mc^2/2$

$$R_S \text{ (km)} \sim 3 \times M \text{ (} M_{\text{sol}} \text{)}$$

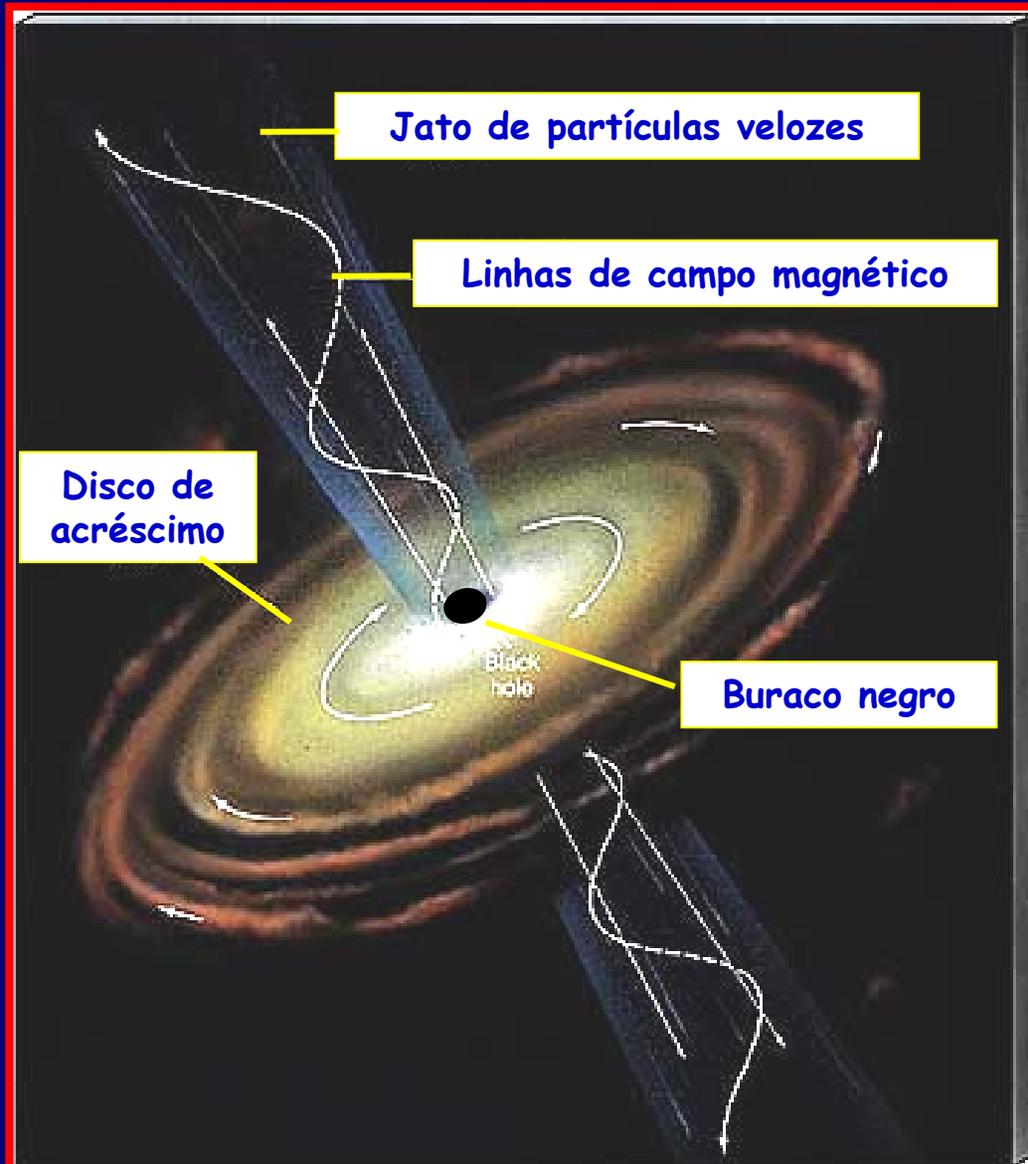
$$R_S \text{ Terra} \sim 1 \text{ cm}$$

$$R_S \text{ BNSM} \sim 1 \text{ UA}$$



A fonte de energia destes objetos

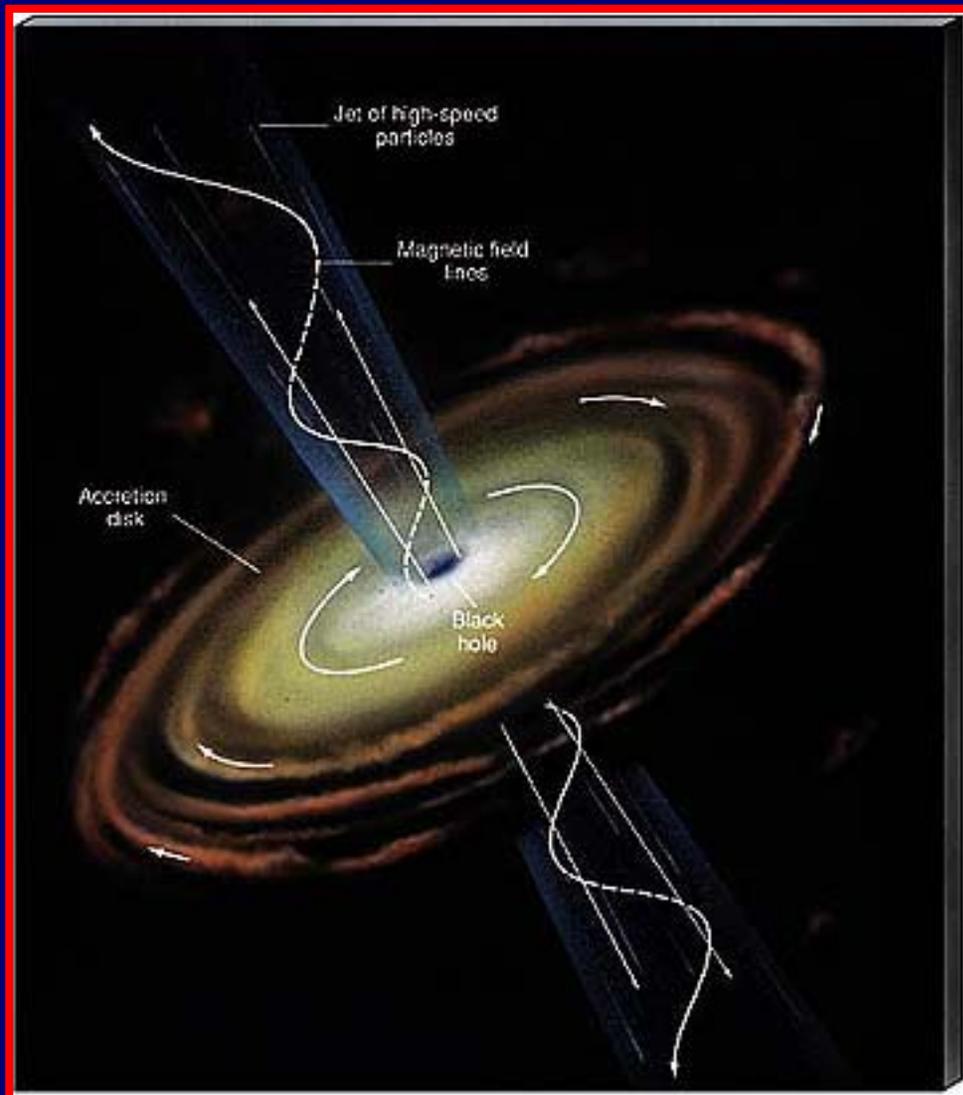
O modelo unificado dos AGNs ---> Disco de Acréscimo + Buraco Negro



Para gerar toda a energia que é medida nestes AGNs, estima-se que a quantidade de matéria a ser acretada pelo BN é da ordem de $1-10 M_{\text{Sol}}$ por ano.

A fonte de energia destes objetos

O modelo unificado dos AGNs ---> Disco de Acrensão + Buraco Negro



Limite de Eddington

É a luminosidade máxima emitida por matéria caindo por meio de um disco de acreção. Este limite é dado pela força da radiação espalhada por elétrons livres do gás sendo capturado.

$$\frac{GmM}{R^2} = \frac{\sigma L}{4\pi cR^2}$$
$$L_{\text{Edd}} \approx 1.3 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\text{Sol}}} \right) \text{ erg s}^{-1}$$

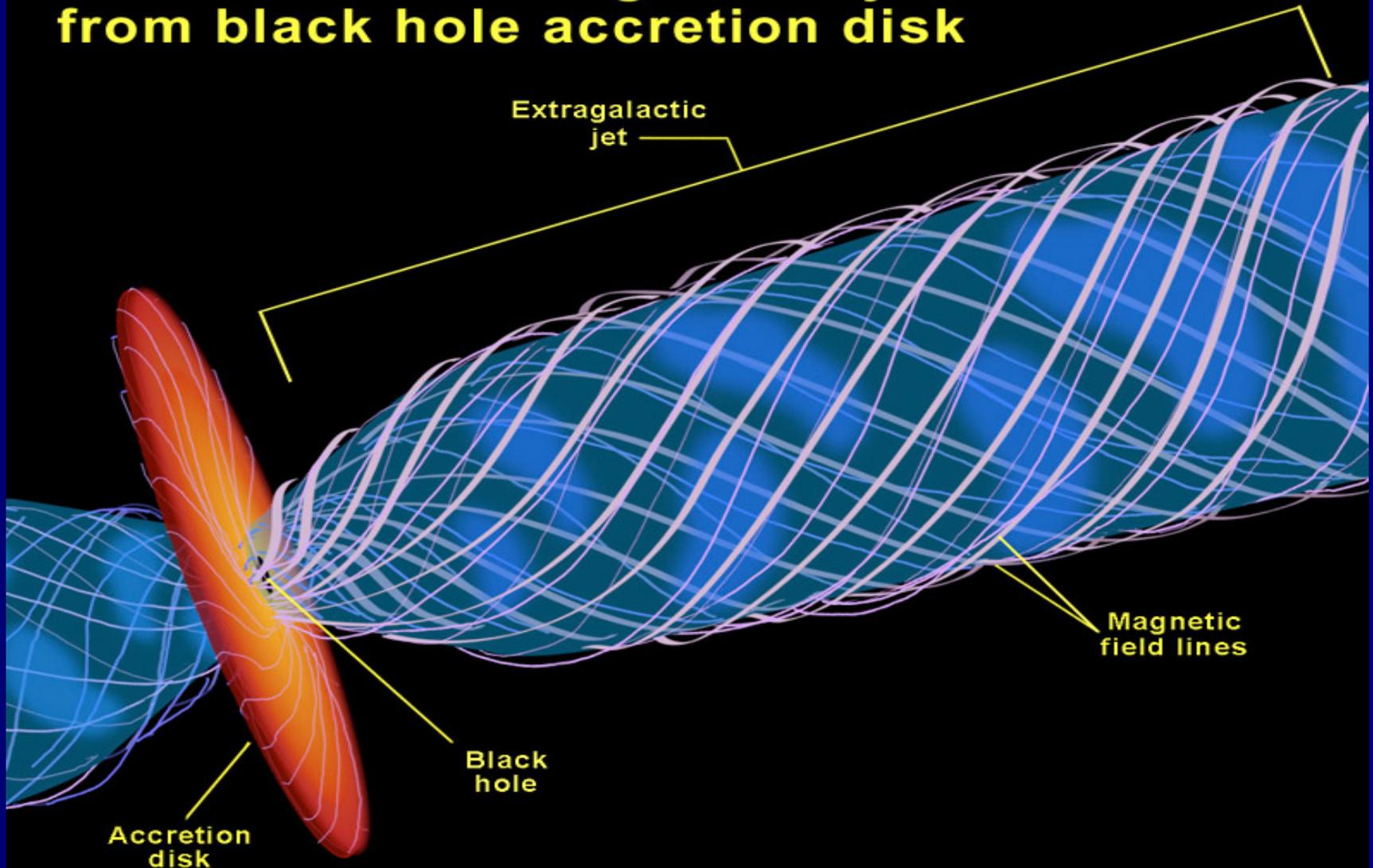
$M, R \rightarrow$ Raio e massa do BN

$\sigma \rightarrow$ seção de choque elétron-fóton

$m \rightarrow$ massa do próton

Formação de Jatos nos AGNs

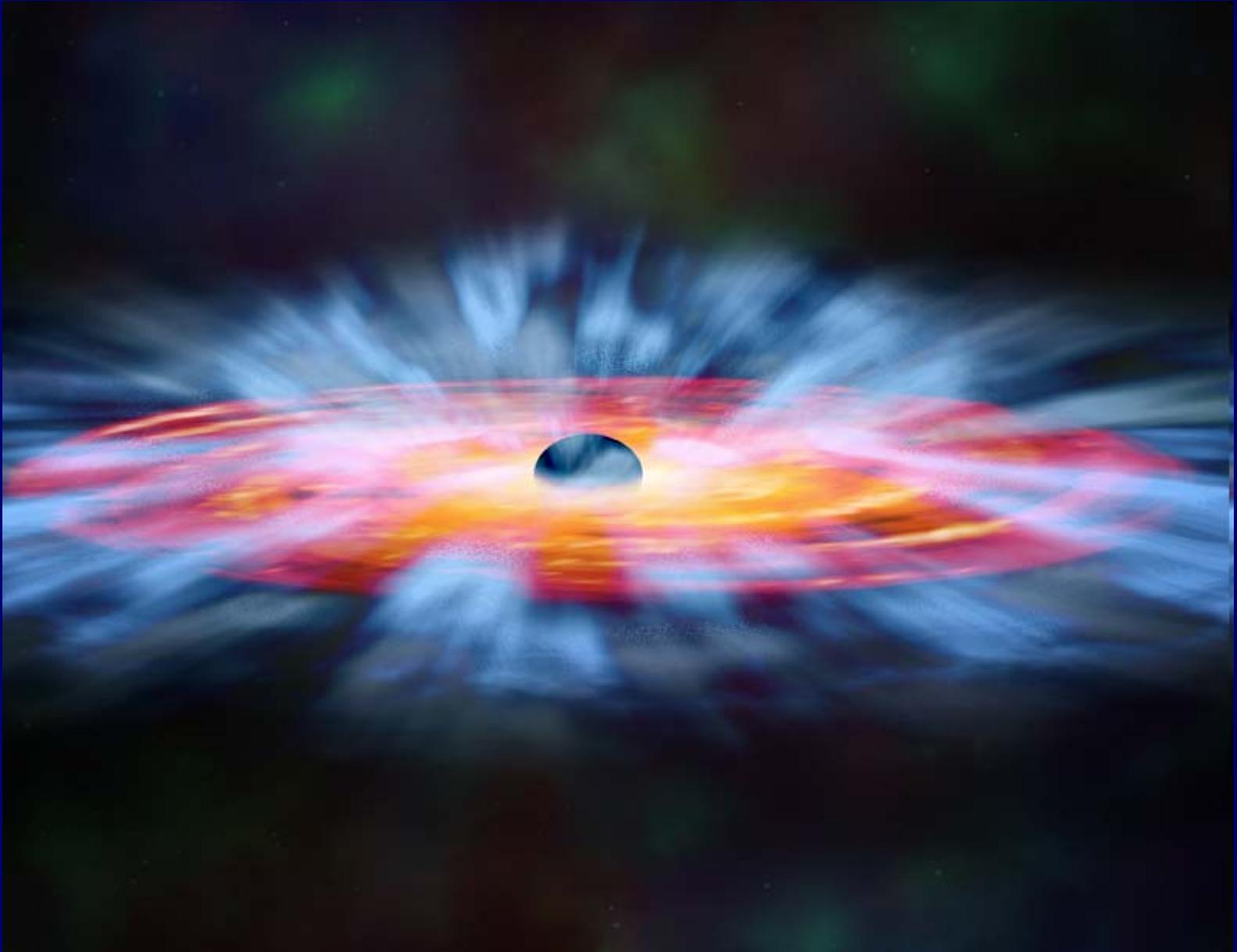
Formation of extragalactic jets from black hole accretion disk



Evolução de um jato em um AGN

Evolução do jato

Identificação espectroscópica de AGNs



Modelo Unificado para os AGNs

Jato Rádio (~1 Mpc)

NLR (~1 kpc)

Toro de Poeira (~10 pc)

BLR (~0.1 pc)

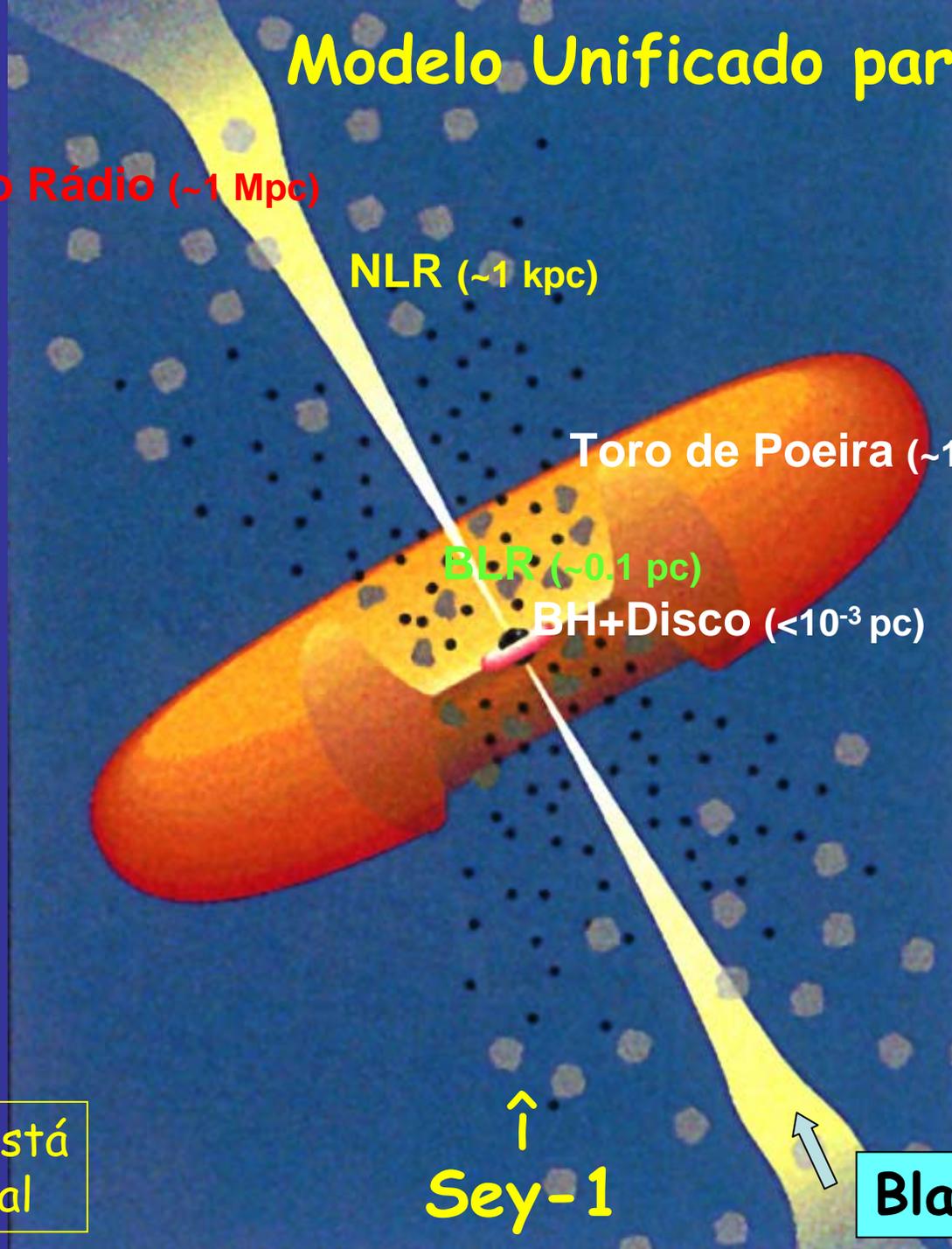
BH+Disco ($<10^{-3}$ pc)

<-- Sey-2

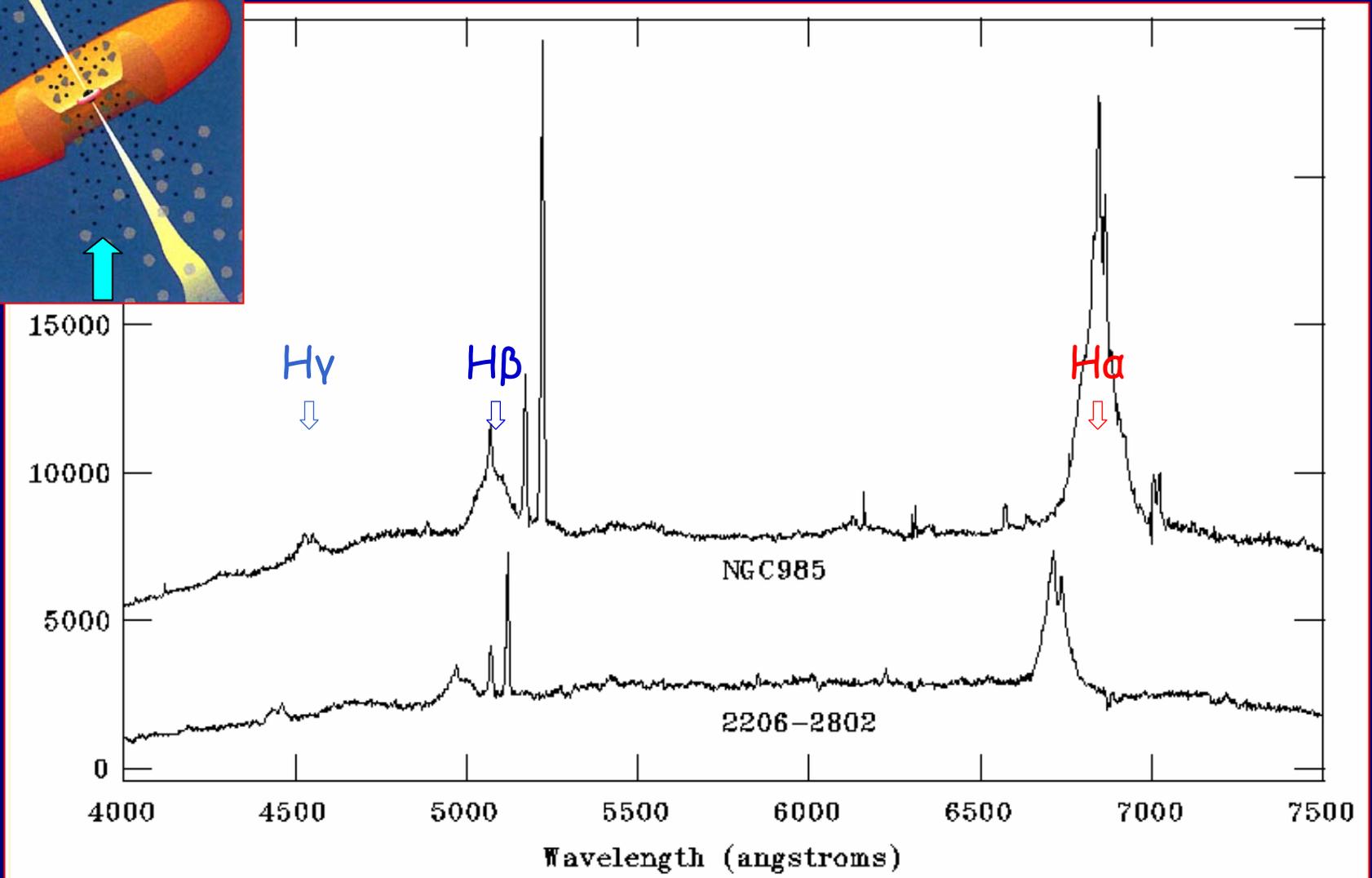
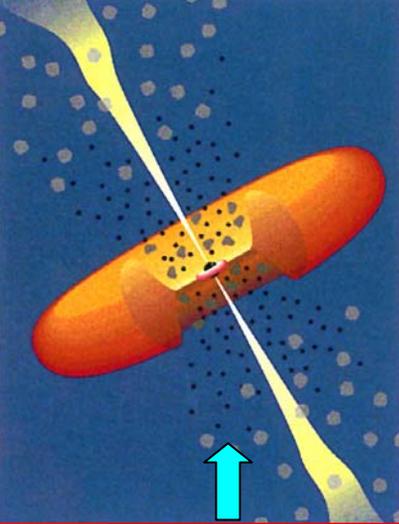
Desenho não está
em escala real

↑
Sey-1

Blazar

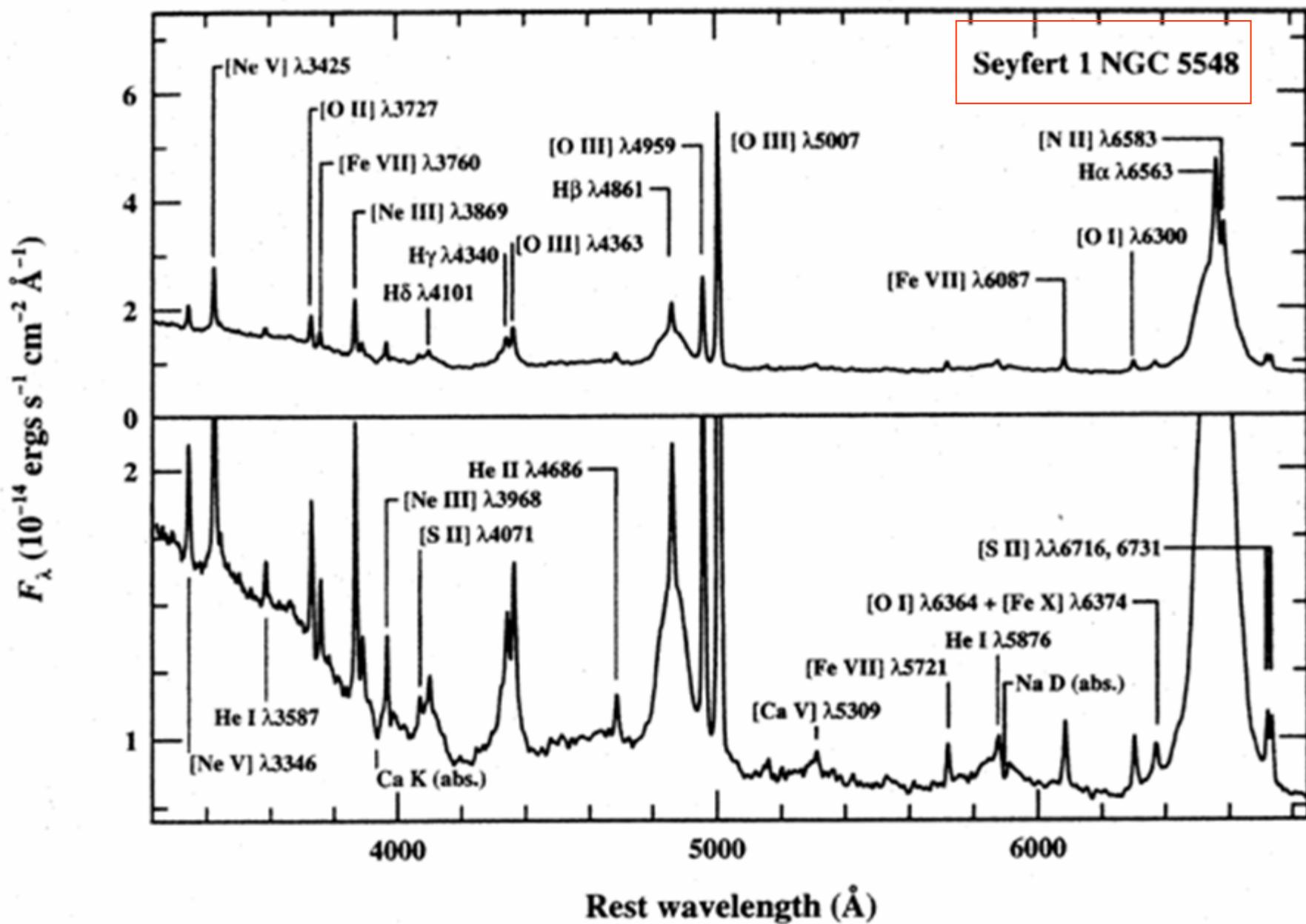


Espectro óptico de Sey-1

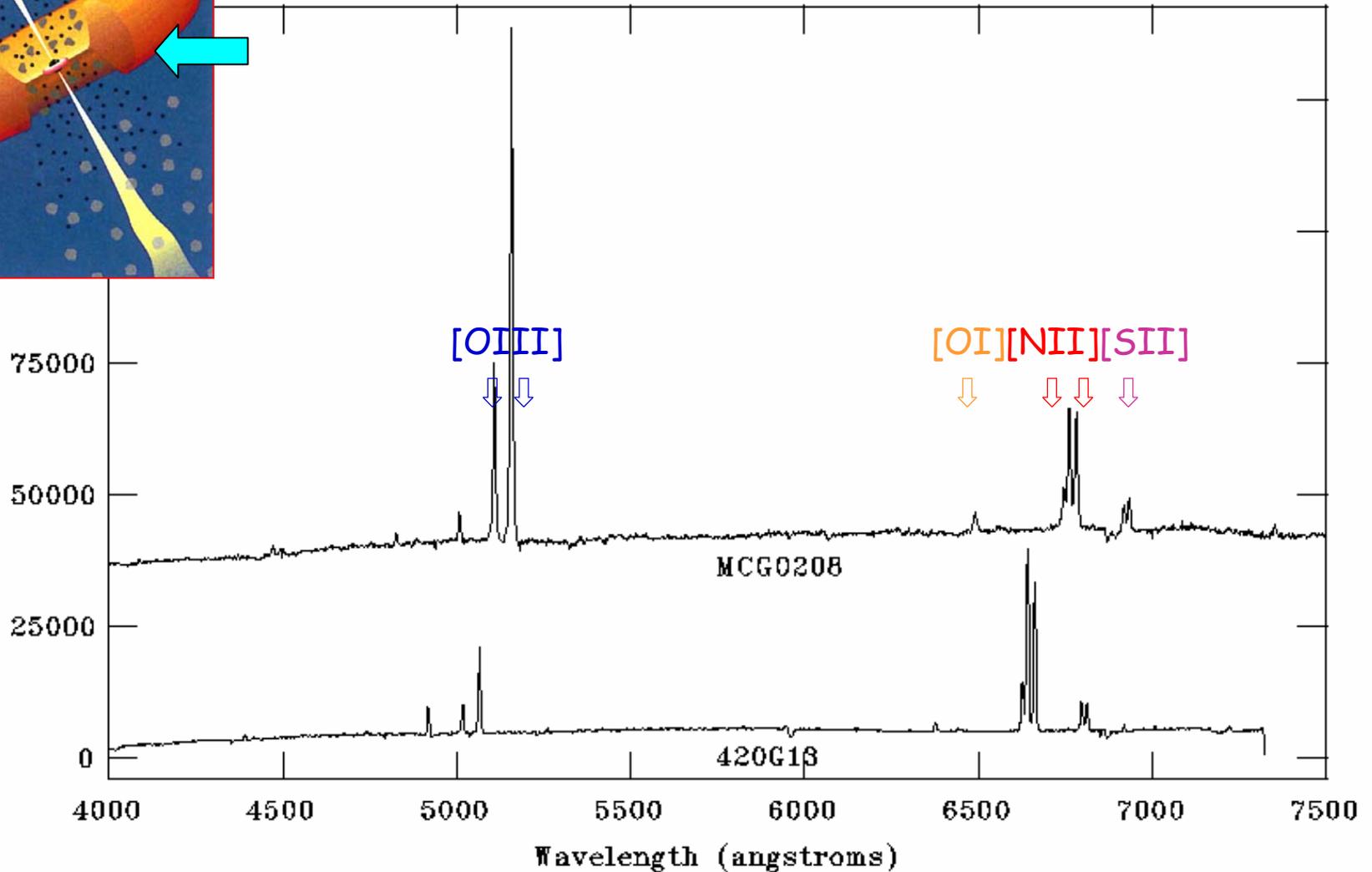
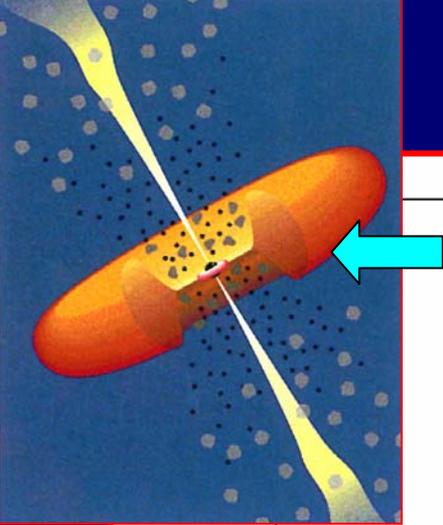


As linhas de emissão permitidas apresentam larguras de 1000-5000 km/s, enquanto as proibidas são da ordem de 500 km/s. *Featureless continuum* (sem linhas) proveniente da fonte central.

Espectro de uma galáxia Seyfert 1 com suas intensas linhas de emissão

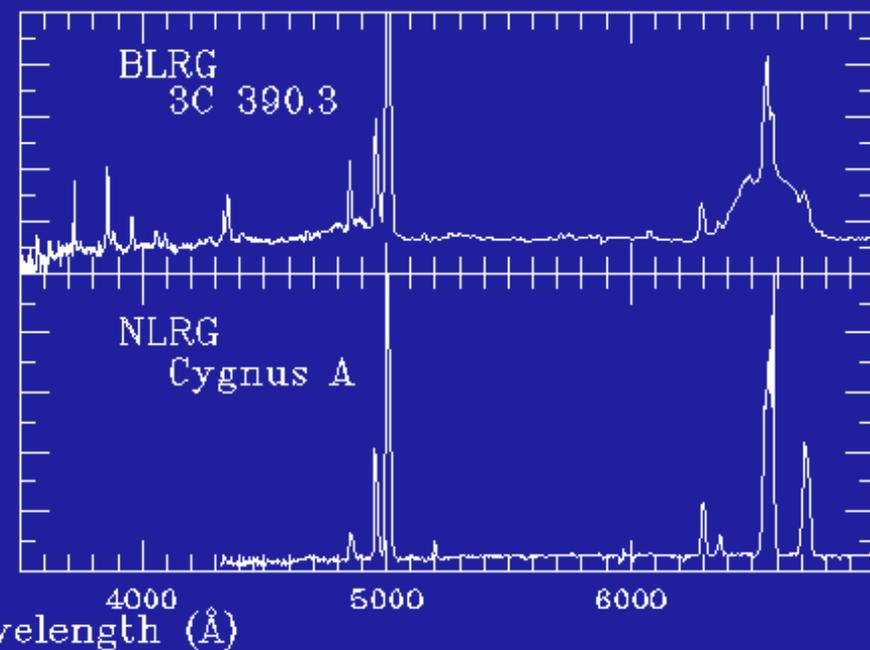
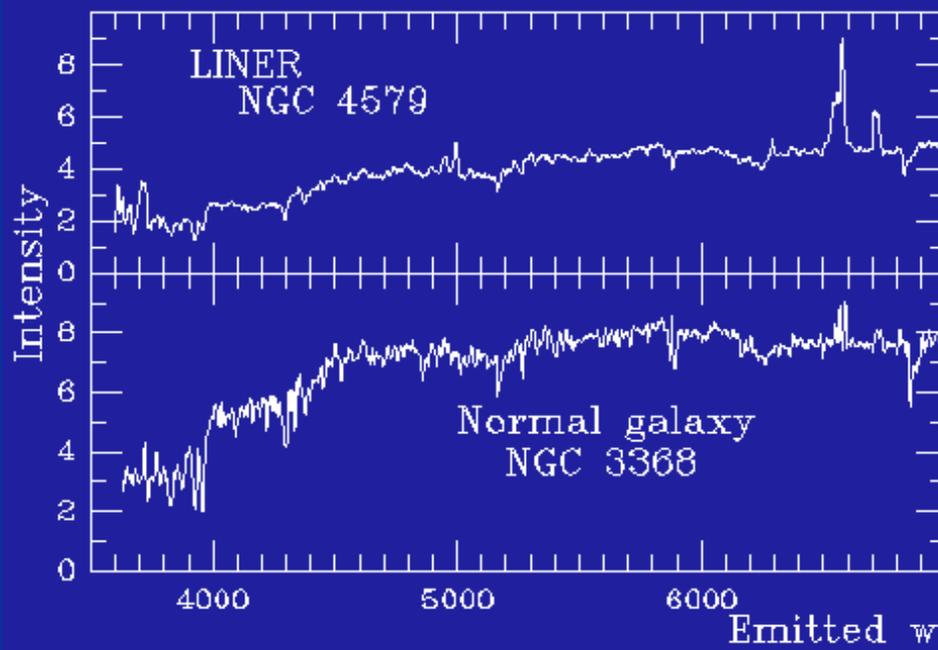
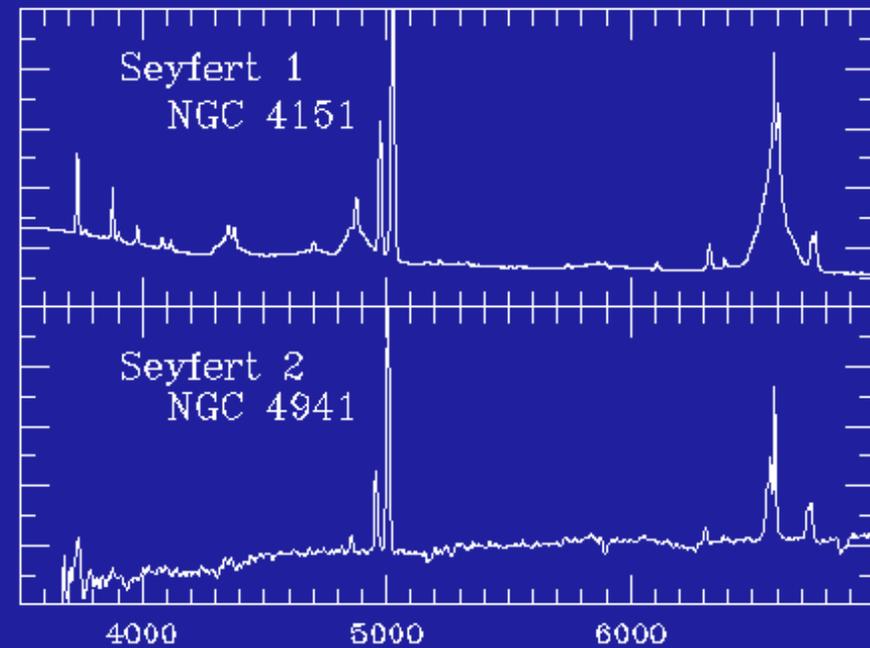
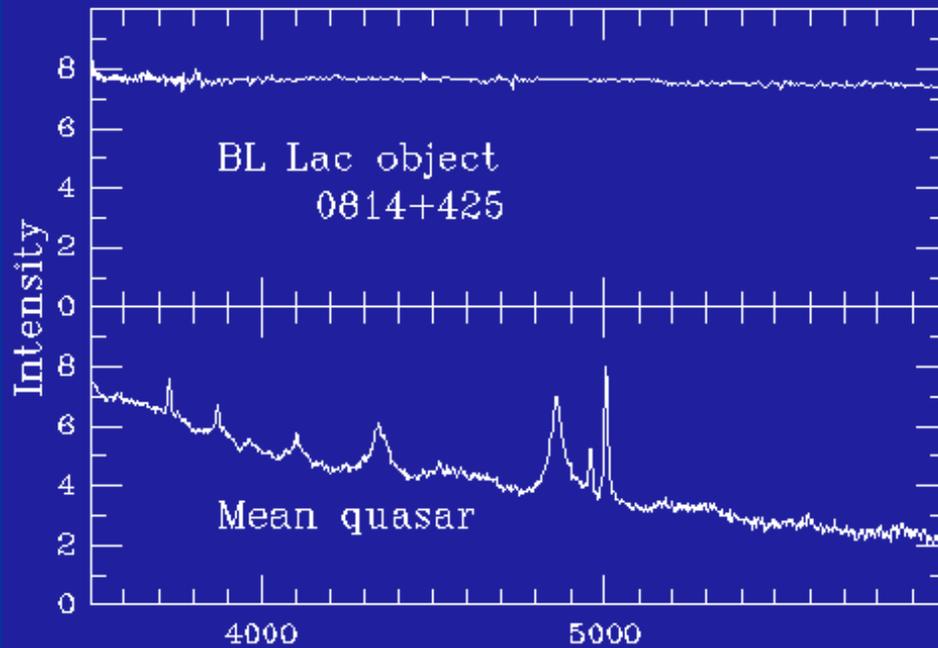


Espectro óptico de Sey-2



Tanto as linhas permitidas como as proibidas apresentam larguras da ordem de 500 km/s.

Espectros ópticos de diversas classes de AGNs



Como isto funciona dentro de uma galáxia ?

Filme do AGN

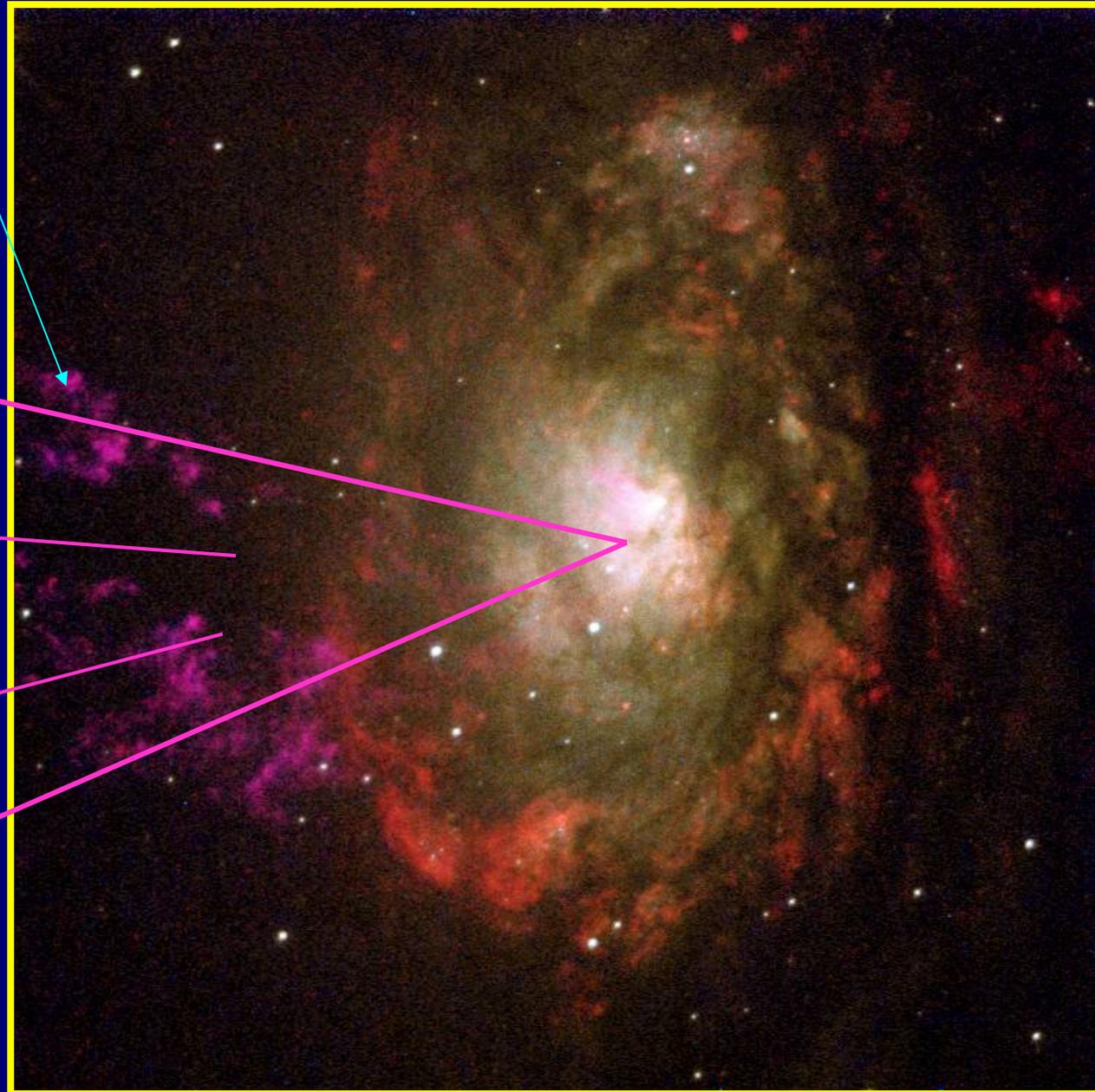
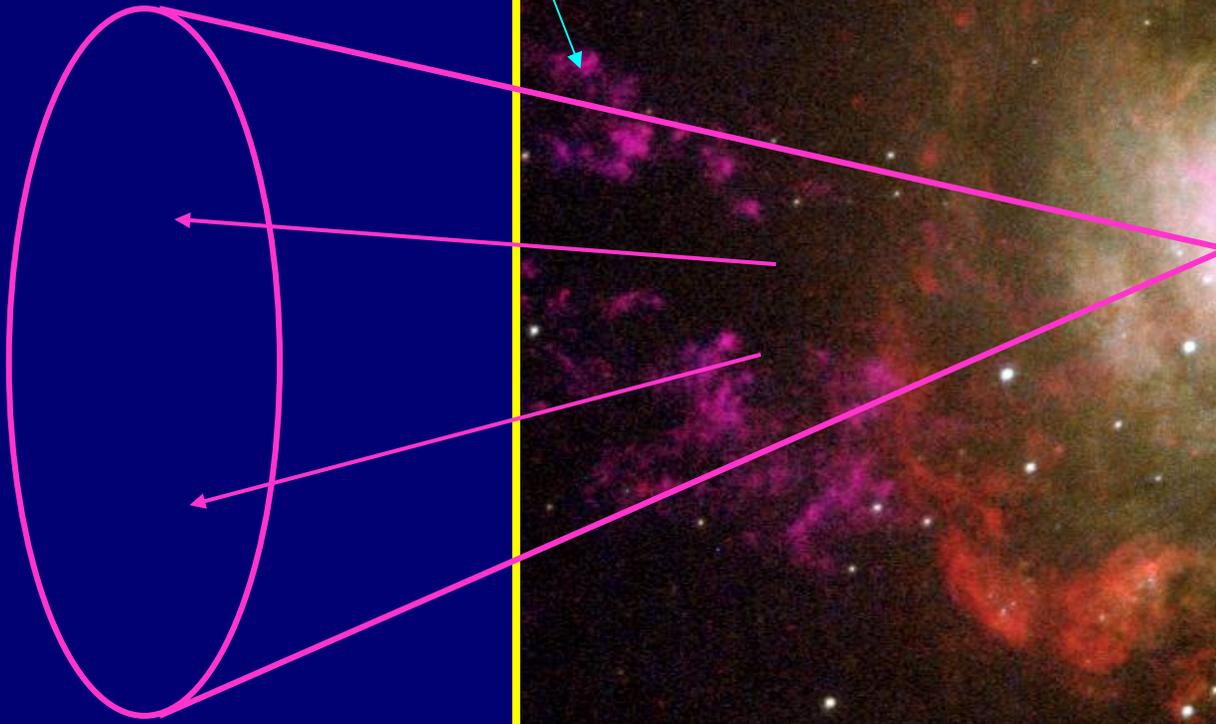
Existem evidências de Buracos Negros?



" É negro, e se parece com um buraco.
Eu diria que é um *Buraco Negro*."

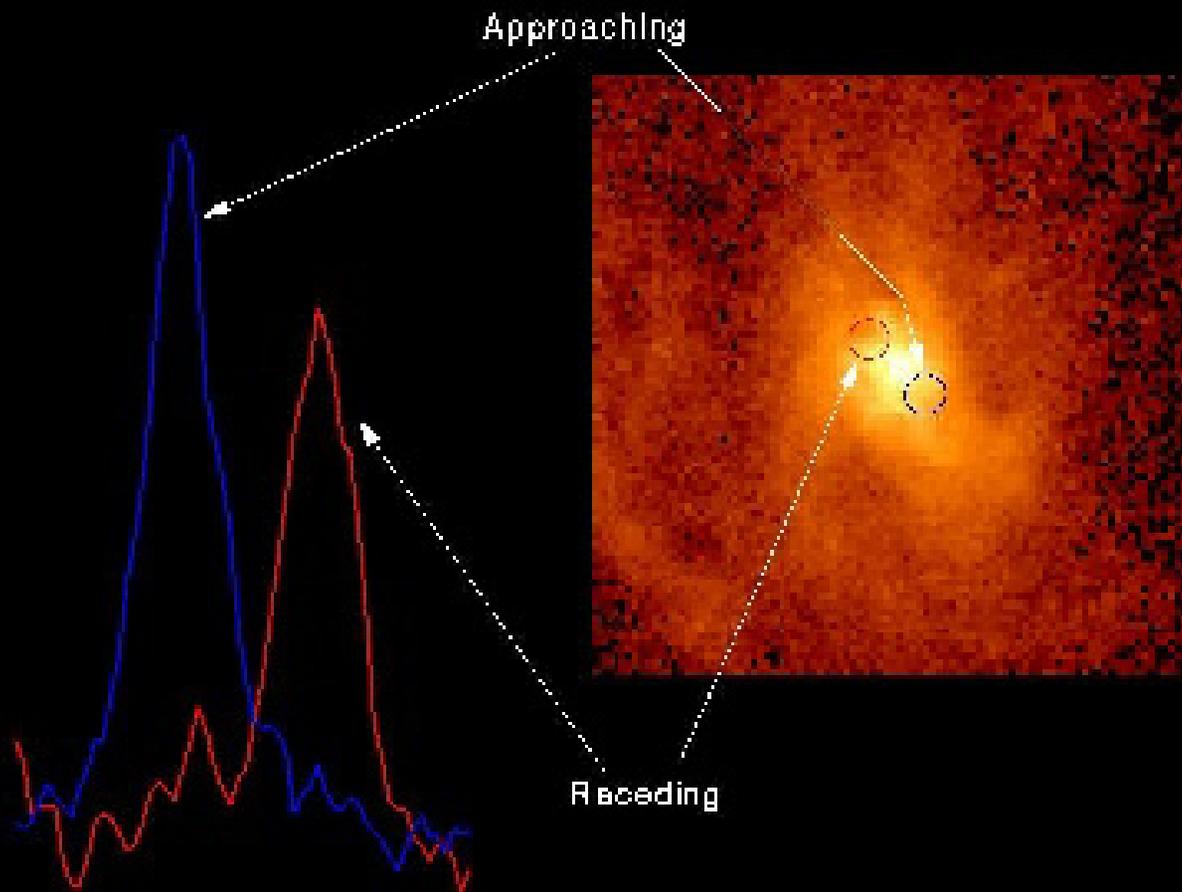
Jato observado no óptico emitido pela galáxia Circinus

A figura mostra de maneira aproximada um cone representando jato que foi observado pelo telescópio Hubble.



Existem evidências da existência de um Buraco Negro Supermassivo ?

Espectro do disco de gás na galáxia M87



Hubble Space Telescope • Faint Object Spectrograph

As grandes velocidades medidas nas duas regiões observadas, podem ser explicadas se houver a presença de um objeto muito massivo (e relativamente compacto) no núcleo da galáxia de forma a manter o material em órbitas com tamanhas velocidades.

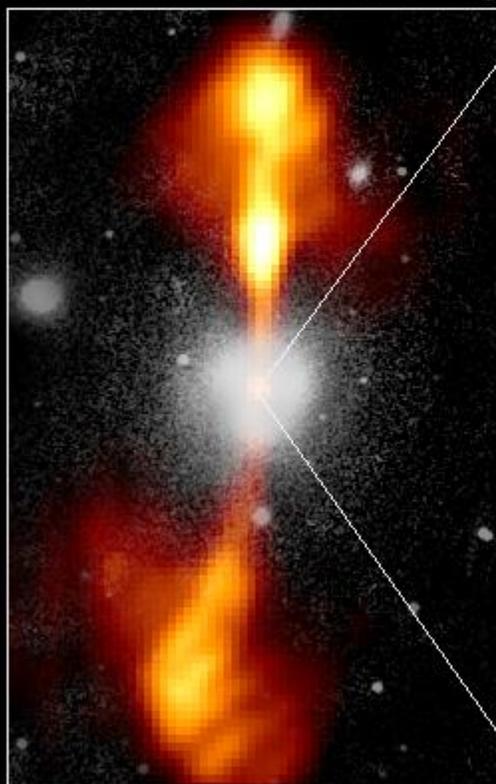
Evidência da existência de um Buraco Negro Supermassivo (ou pelo menos das vizinhanças dele).

Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

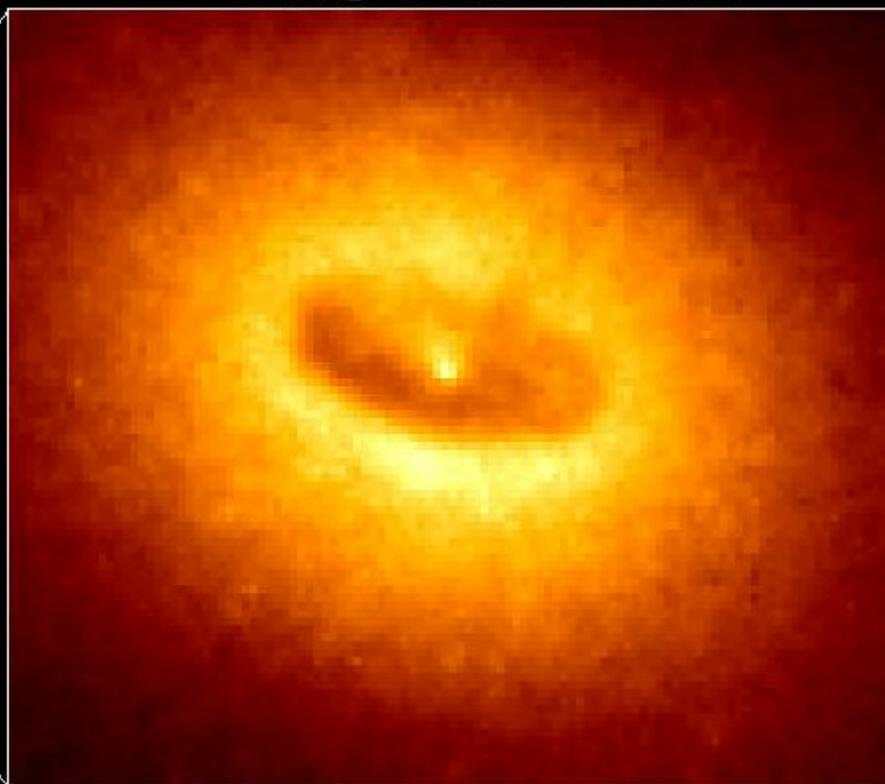
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

Animação de Centaurus A "alimentando" o Buraco Negro central



centauf.qt

Variabilidade de um AGN como indicador de tamanho

Se um AGN de tamanho d situado a uma distância x como mostrado na fig. abaixo, tem sua luminosidade aumentada por um período de tempo, quando a radiação do lado esquerdo começa a chegar em um tempo $t_1 = x/c$. Ele retorna ao nível quiescente em um tempo $t_2 = (x+d)/c$. O tamanho do AGN deve ser menor que $d = (t_2 - t_1) \times c$. Para uma variabilidade de 1 dia, significa o tamanho de 1 *dia luz*, o que é algo como 4 vezes o tamanho do sistema solar.

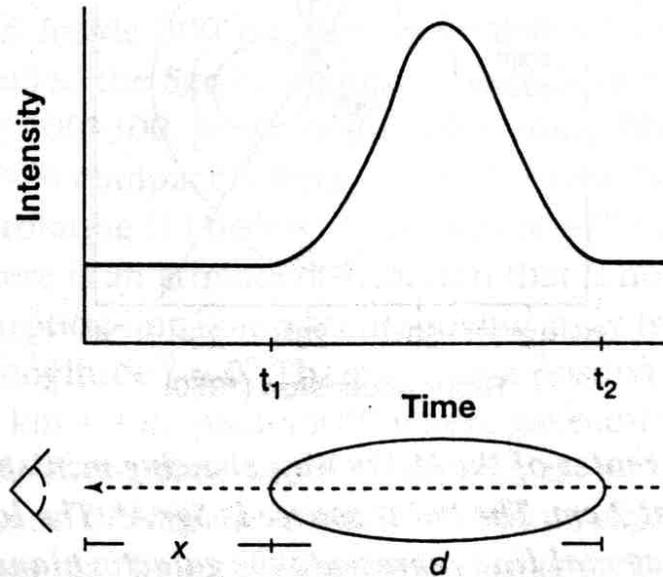
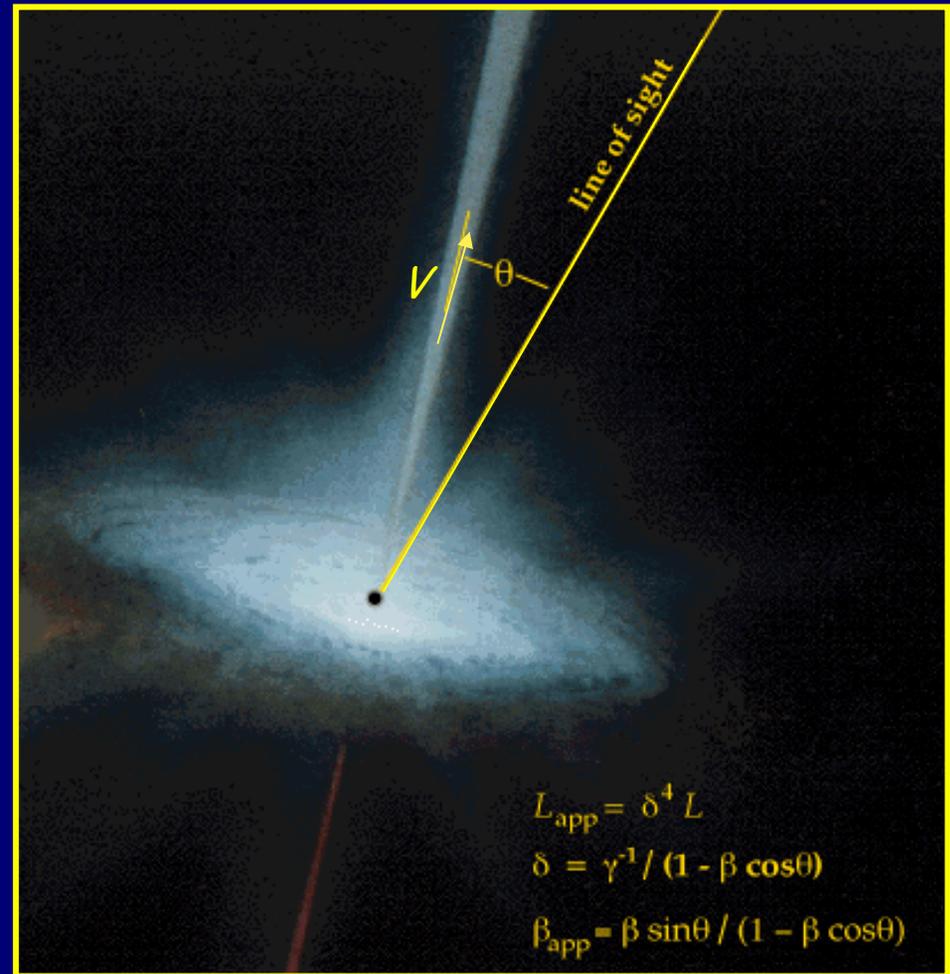
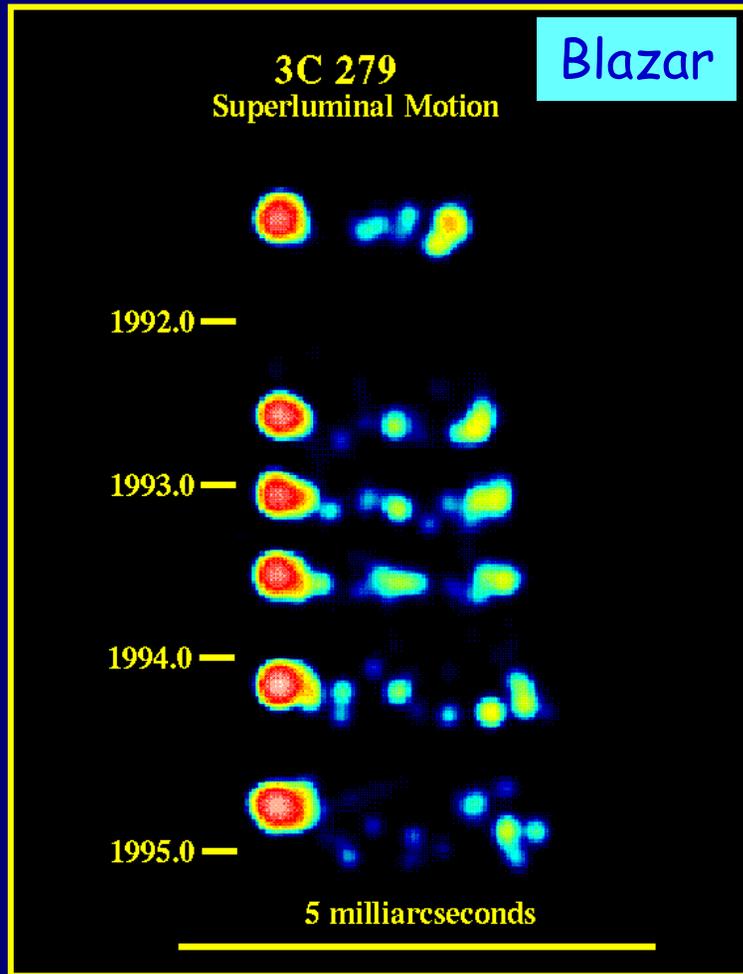


FIGURE 11.18 *A black hole's variability is an indication of its size.*

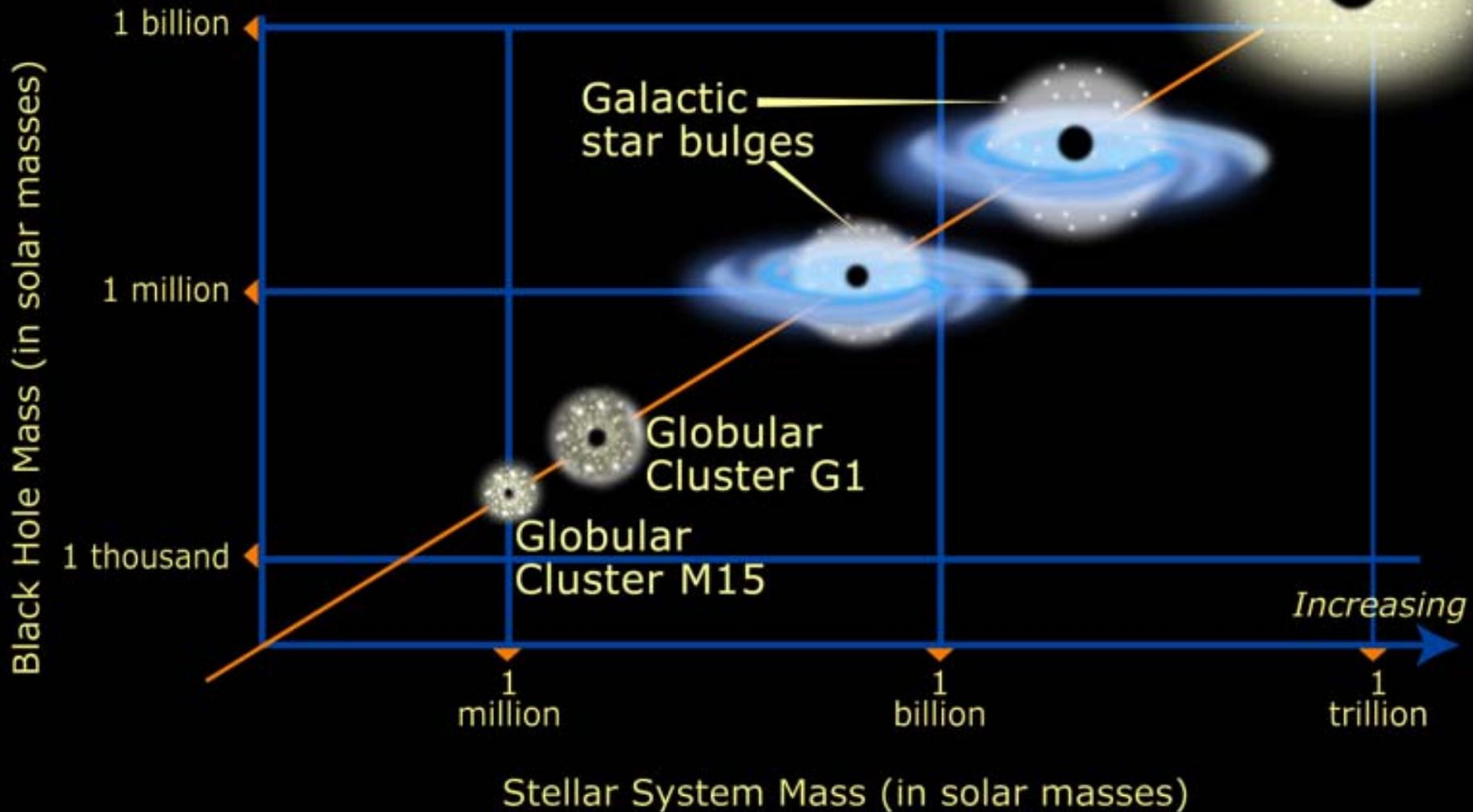
Velocidades superluminais



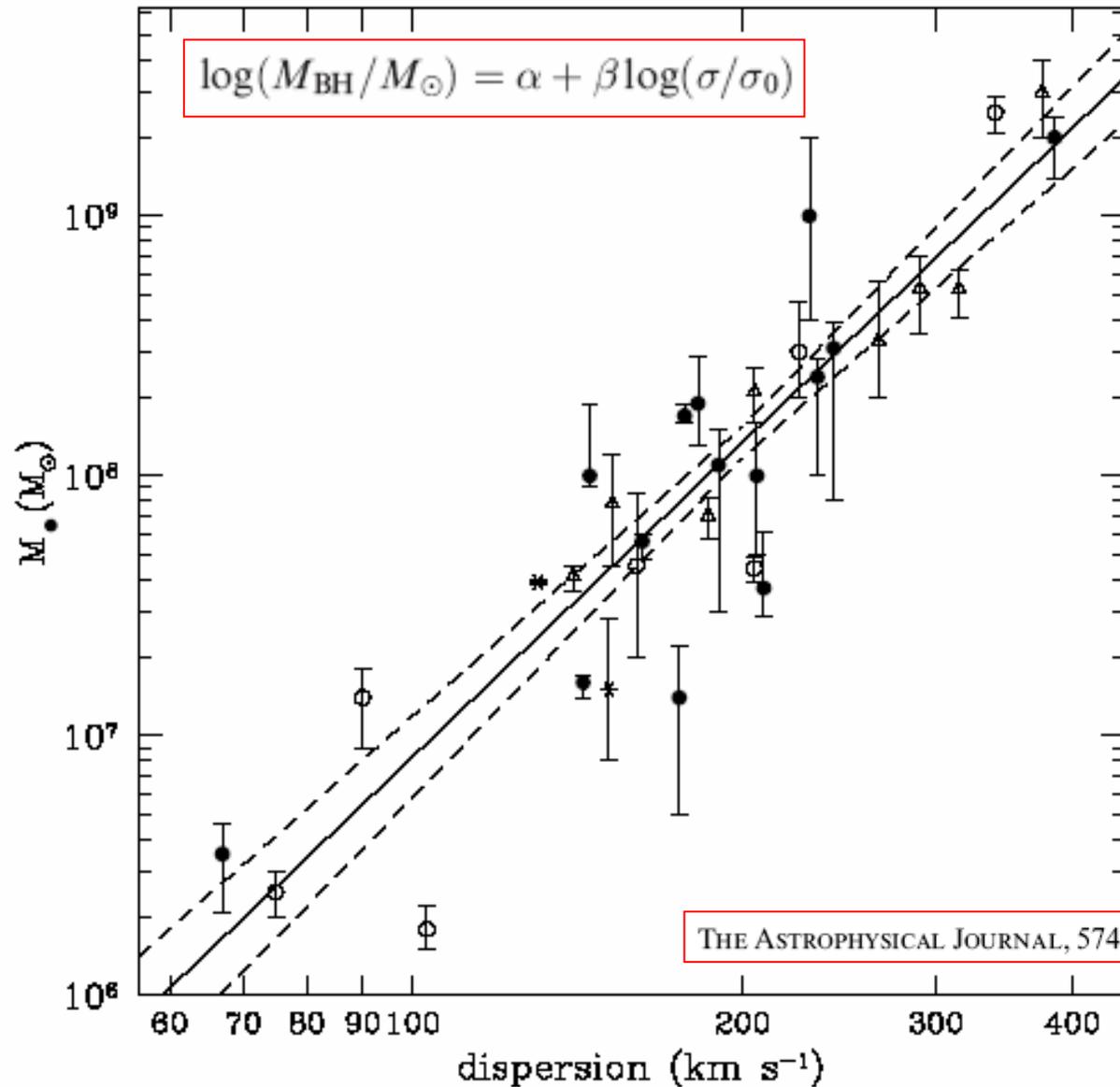
A velocidade aparente na transversal vai ser dada por:

$$V_a = \frac{V \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta} \quad \text{onde} \quad \beta = V/c$$

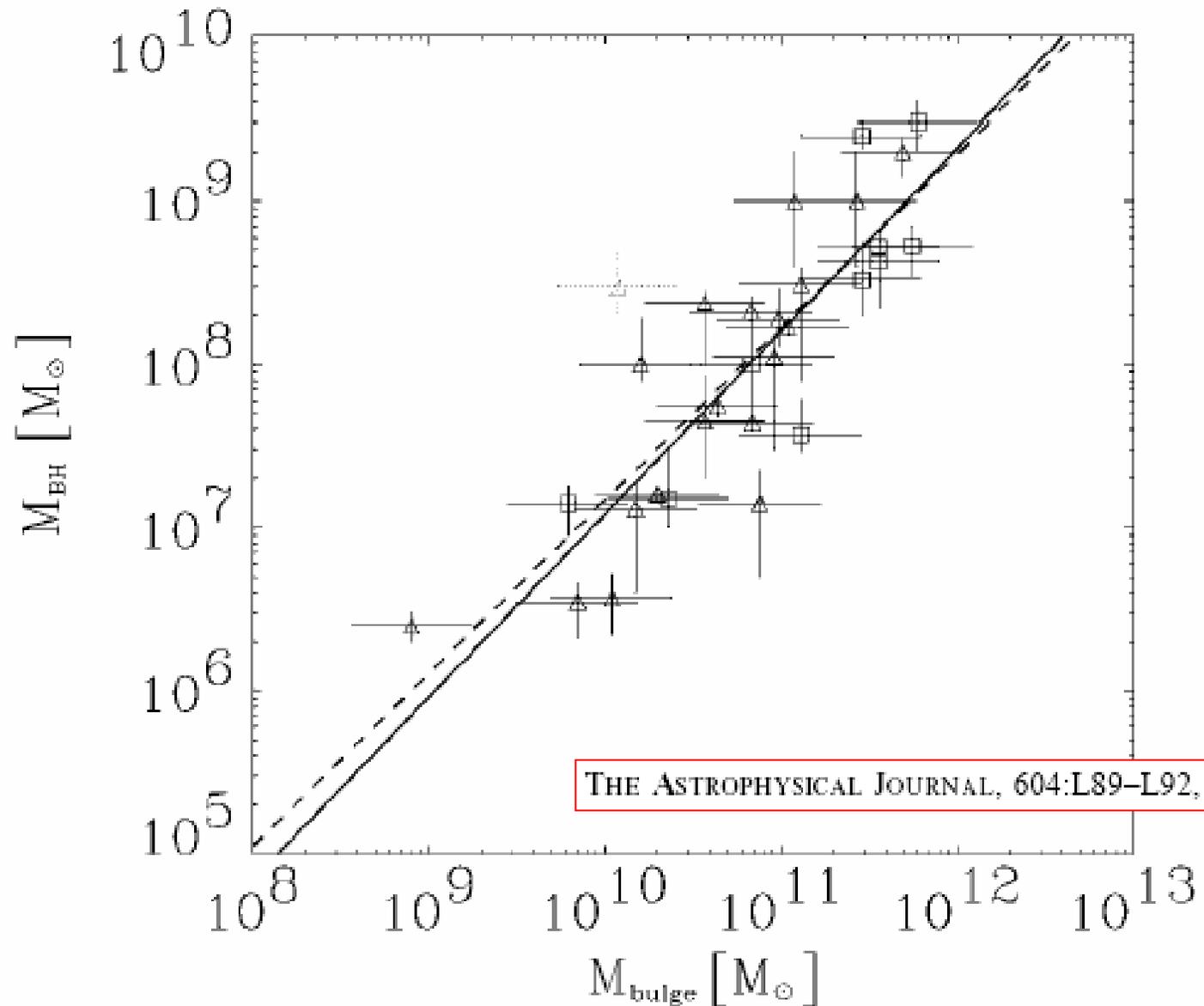
Correlating Black Hole Mass to Stellar System Mass



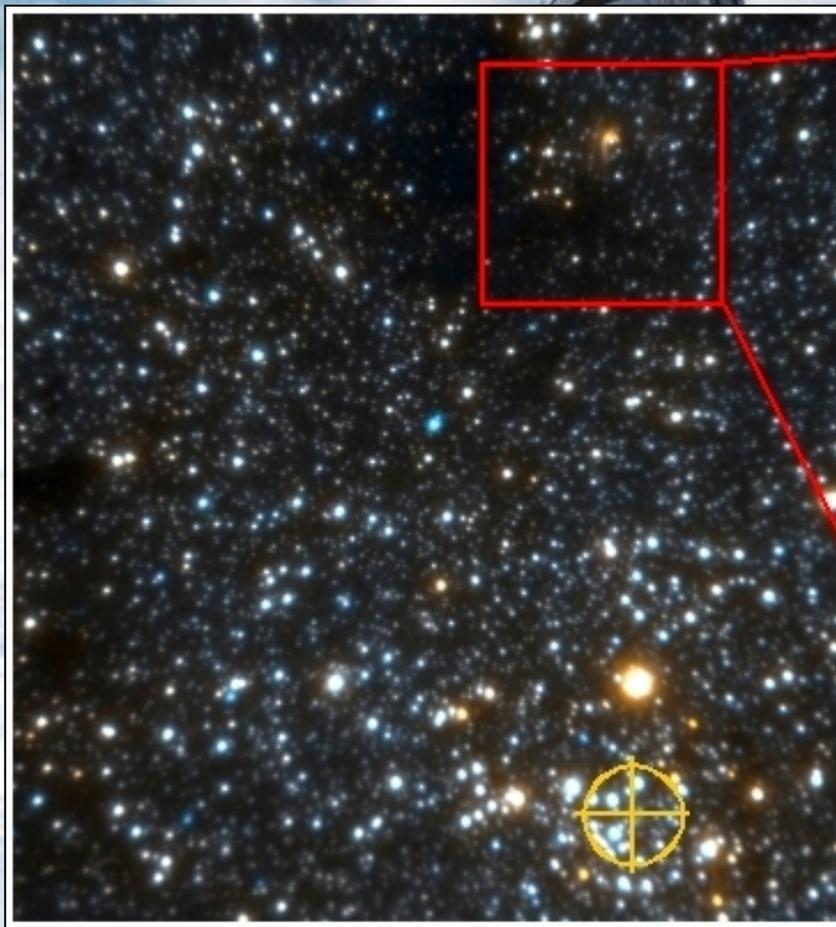
Relação Massa BN x Dispersão de Velocidades



Relação Massa BN x Massa Bojo



A Galáxia tem um Buraco Negro em seu centro !



Closeup of IRS8, resolving the bow-shock of a fast-moving star.

**Gemini North Adaptive Optics
Image of the Galactic Center**

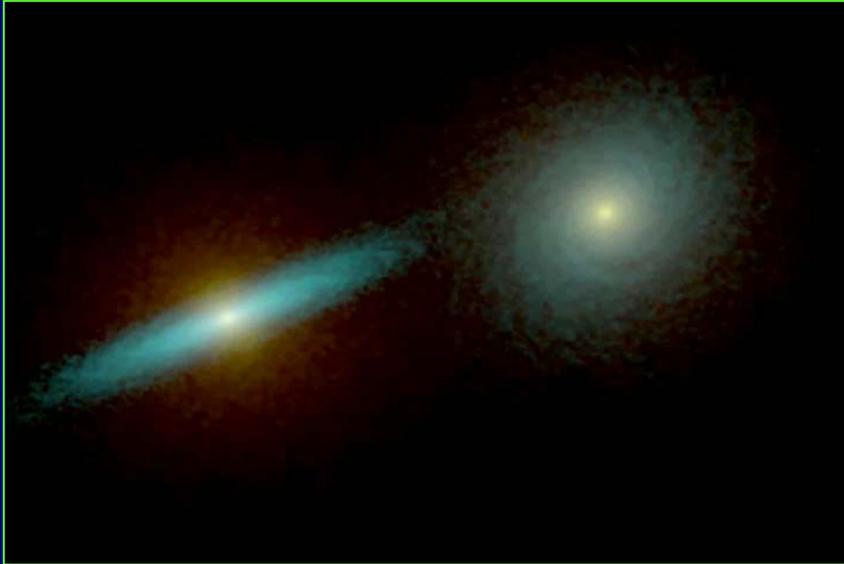
(Crosshairs indicate location of Galactic Center)

Efeitos do meio ambiente sobre os AGNs

O estudo dos AGNs está procurando respostas para uma série de questões que ajudarão na compreensão dos processos envolvidos na formação e evolução de galáxias. Algumas destas questões estão formuladas abaixo:

- Habitat: encontram-se isolados ou em grupos de galáxias ?
- Presença de barras como intensificador da atividade ?
- Dependência do fenômeno com a luminosidade intrínseca ?
- Presença de galáxias companheiras ?
- Tipo morfológico preferencial ?
- Qual a densidade local de AGNs ?

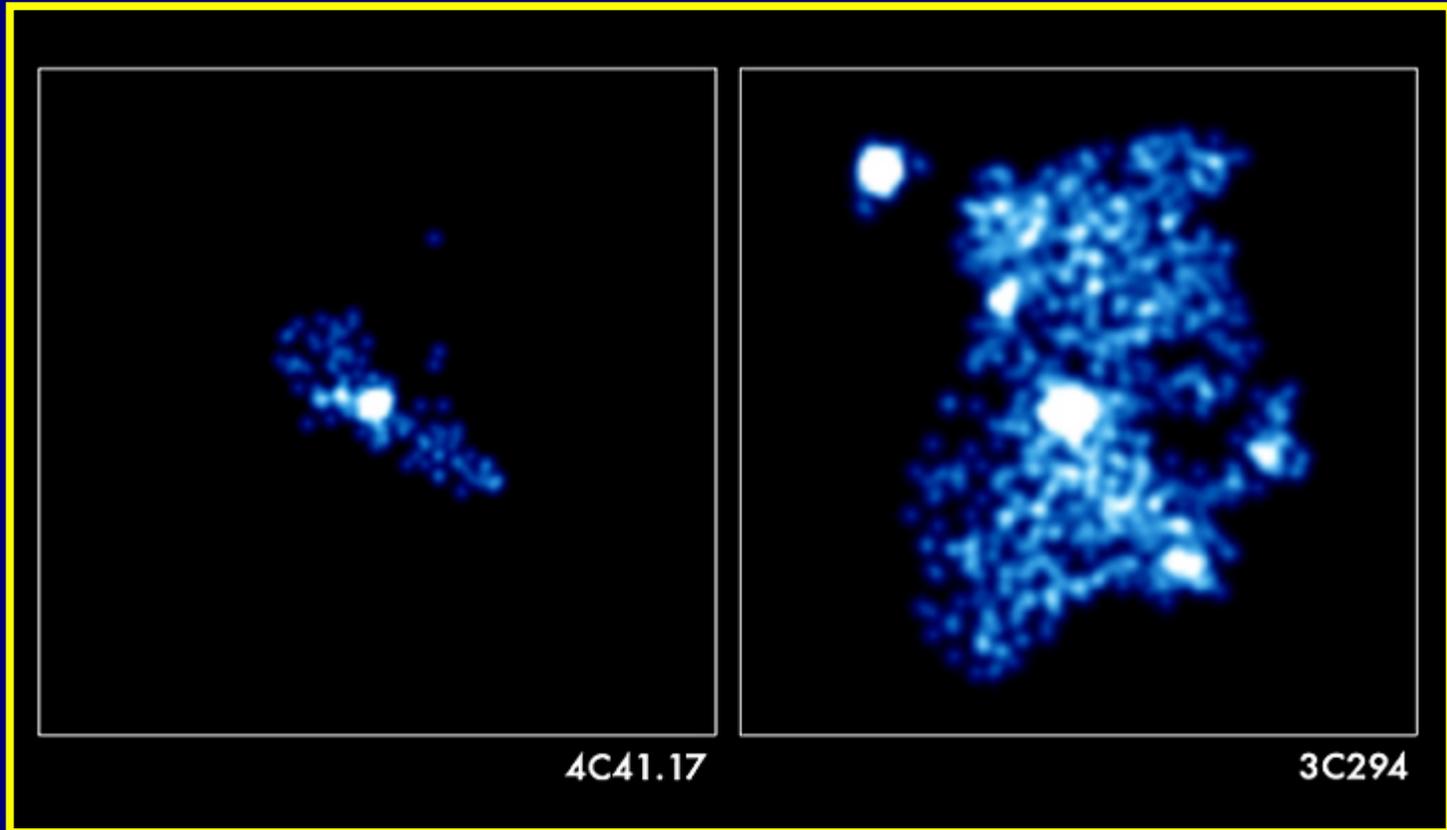
O processo de fusão de galáxias hospedeiras de BNSMs



O processo de fusão de galáxias hospedeiras de BNSMs, pode resultar na fusão dos próprios BNSMs, um evento que deve produzir muita energia, inclusive intensa emissão de radiação gama e gravitacional.

A evolução das galáxias ligada aos AGNs

Interrupção no processo de colapso da matéria em uma protogaláxia produzido pela pressão de radiação do AGN.



Filme

Quasares

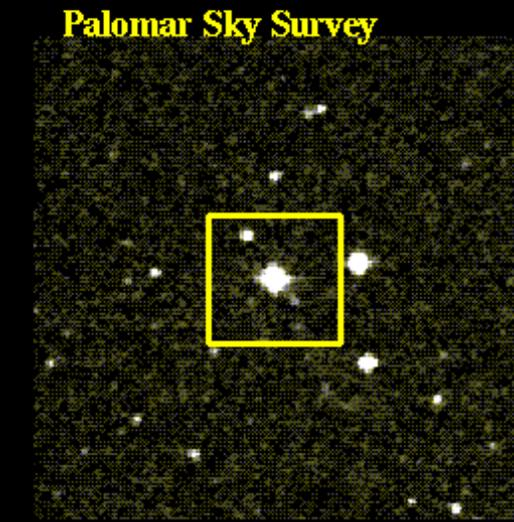
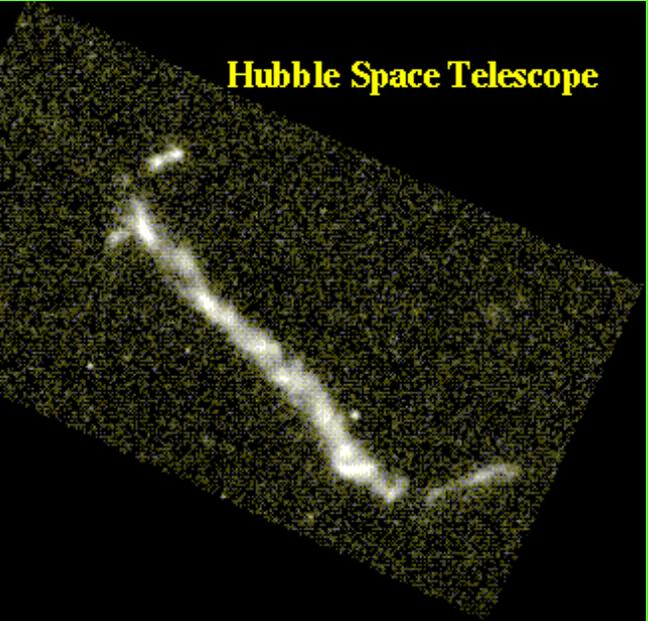
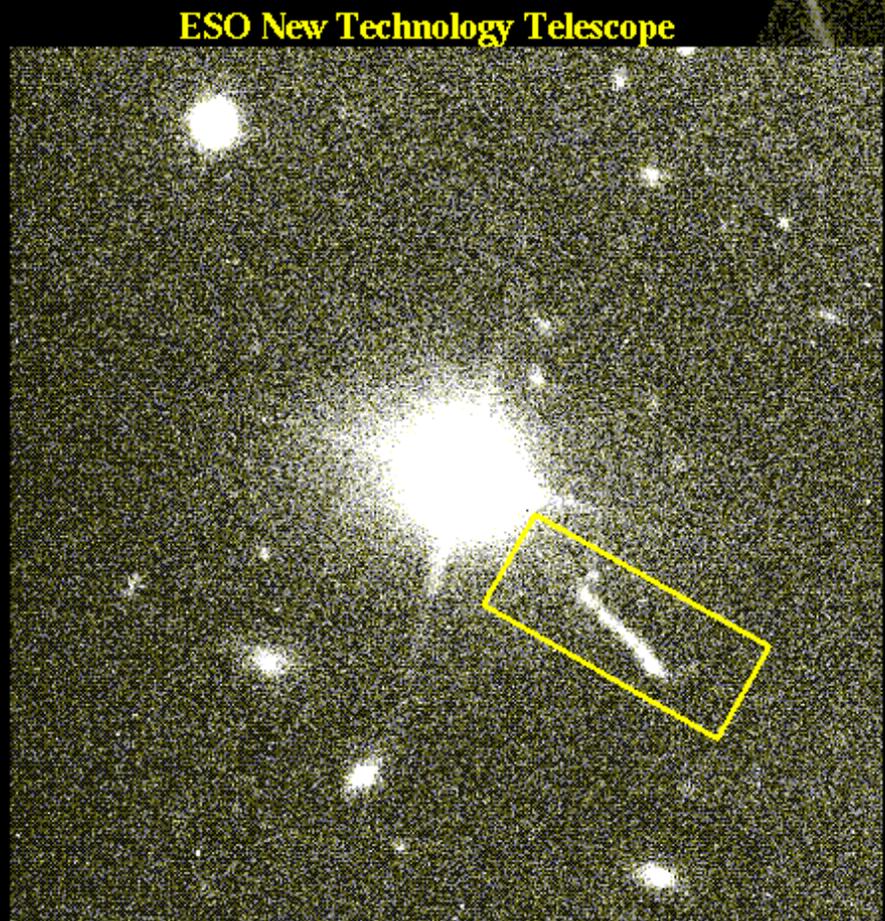
Com a descoberta de um grande número de radiofontes nos finais dos anos 50, a tarefa de obter identificações destes objetos levou os astrônomos a se depararem com algumas situações inusitadas. Em 1960, Thomas Matthews e Alan Sandage estavam procurando a contrapartida óptica para a radiofonte 3C 48, e acabaram encontrando um objeto estelar de magnitude $m=16$. O espectro deste objeto apresentou linhas de emissão muito largas, que não era possível associar com qualquer elemento ou molécula conhecidos.

Em 1963, outro destes espectros "estranhos" foi encontrado para a radiofonte 3C 273 (ver próximos slides) em cuja imagem "estelar" foi possível, inclusive, a identificação de um jato luminoso. Estas e outras fontes deste tipo, foram classificadas como **quasi-stellar radio sources**, ou **quasares**.

Em fins de 1963 o astrônomo Maarten Schmidt reconheceu o padrão de linhas largas de 3C 273 como sendo o mesmo da série de Balmer do hidrogênio. A fonte estava se deslocando com 15% da velocidade da luz. 3C 48 estava com 30% da velocidade da luz ($z=0.367$).

Quasares - 3C 273 - O mais próximo

3C 273 and its Jet



Quasares - 3C 273 - Espectro

Espectro obtido para o quasar 3C 273. Um espectro de comparação com linhas da série de Balmer usado para calibrar o do quasar, é mostrado embaixo do de 3C 273. O deslocamento das linhas fornece um $z=0.158$.



Quasares (cont.)

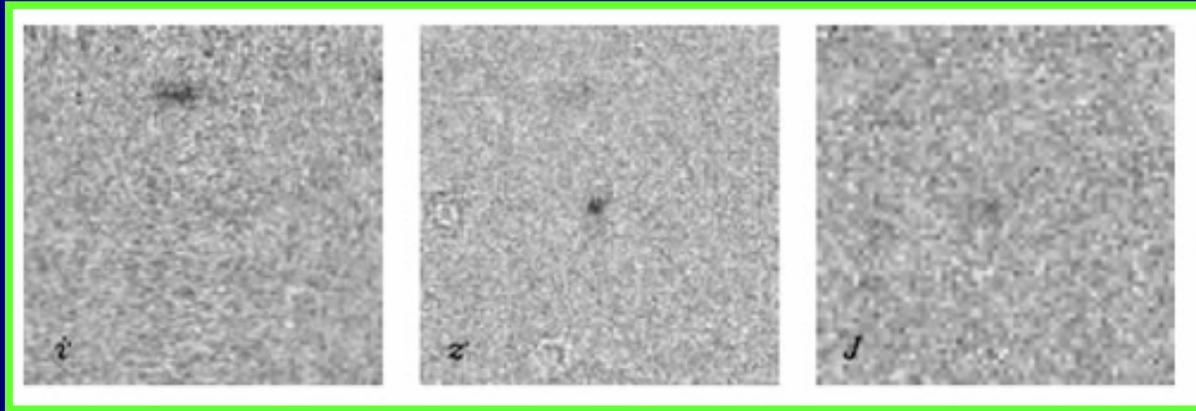
Os quasares estão a tão grandes distâncias, que em imagens ópticas da maioria deles aparece como uma forma estelar brilhante, cuja luz é proveniente de seu núcleo, circundado por um halo diáfano. Em alguns casos este halo pode ser visto como uma fraca galáxia hospedeira.

As luminosidades bolométricas inferidas dos quasares são da ordem de 10^{45} - 10^{48} ergs/s, com 10^{46} erg/s sendo um valor típico. Isto implica que os quasares mais luminosos são 10^5 vezes mais energéticos que a Via Láctea.

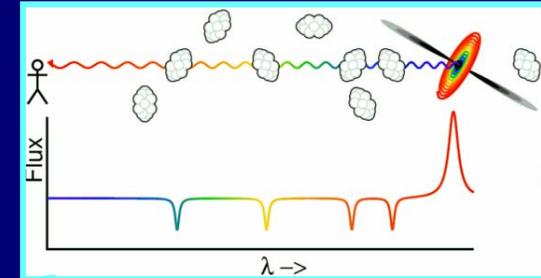
Descobriu-se que 90% dos candidatos a quasares e AGNs são relativamente "quietos" em rádio. Por esta razão, a maioria destes objetos são chamados de QSOs, ao invés de quasares. O termo quasar é usado para os radio-loud.

QSOs --> radio-quiet
Quasares --> radio-loud

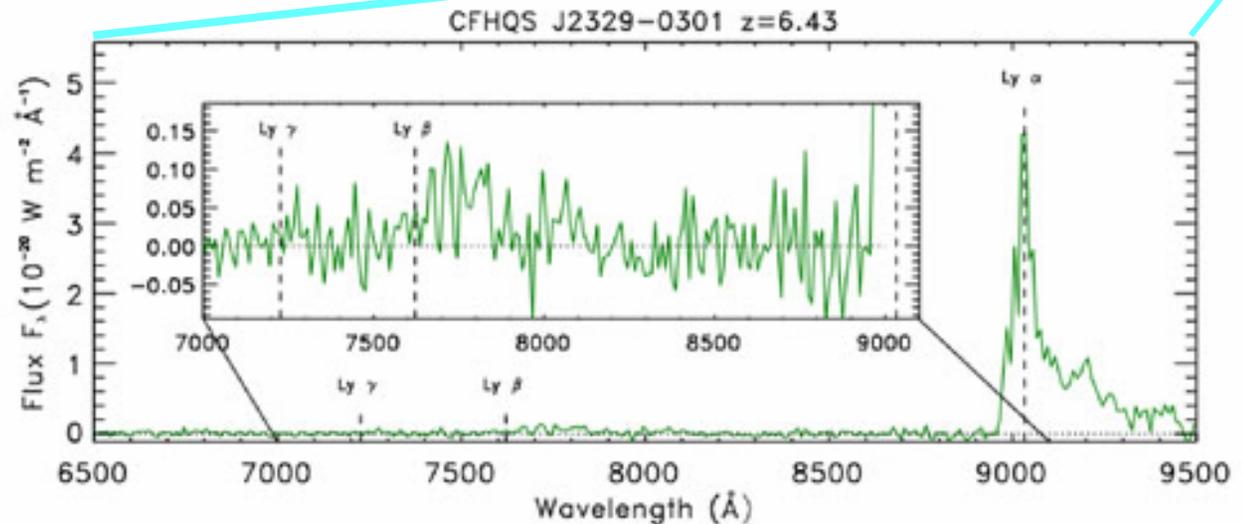
Quasares mais distantes



Imagens nos filtros i' , z' e J (do CFHT e ESO NTT) mostrando o mais distante qso identificado no Canada-France-Hawaii High- z Quasar Survey. Cada imagem tem $20 \times 20 \text{ arcsec}^2$.



Espectro do telescópio GEMINI indicando o redshift do quasar.

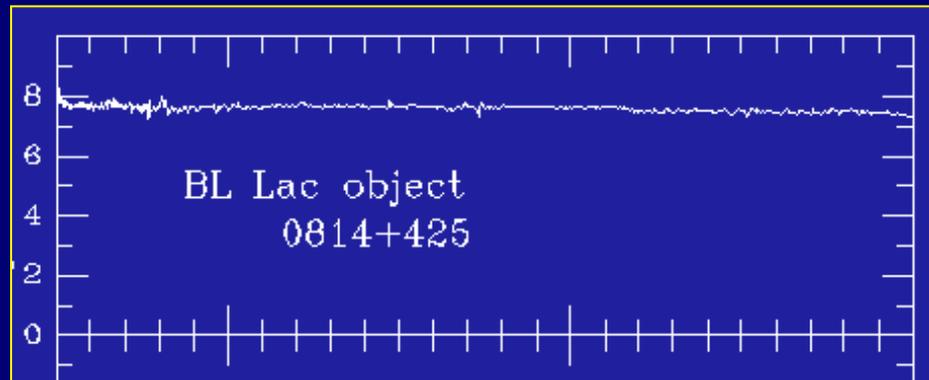


Blazares = BL Lacs

Alguns AGNs apresentam as propriedades de uma variabilidade muito rápida e um alto grau de polarização na faixa óptica. O mais conhecido objeto desta classe se chama BL Lacertae encontrado na constelação de Lacerta (Lagarto). BL Lac foi originalmente classificado como uma estrela variável devido a sua irregular flutuação de brilho. Em uma semana BL Lac pode dobrar sua luminosidade. Passados alguns meses, pode variar sua luminosidade até de um fator 15.

Os espectros ópticos de um blazar apresentam apenas um "featureless continuum", não apresentando linhas de emissão ou absorção intensas.

Observações revelam que o núcleo estelar brilhante dos BL Lacs estão circundados por halo difuso, cujo espectro é similar ao de uma galáxia elíptica.



Optically Violent Variable Quasars - OVVs

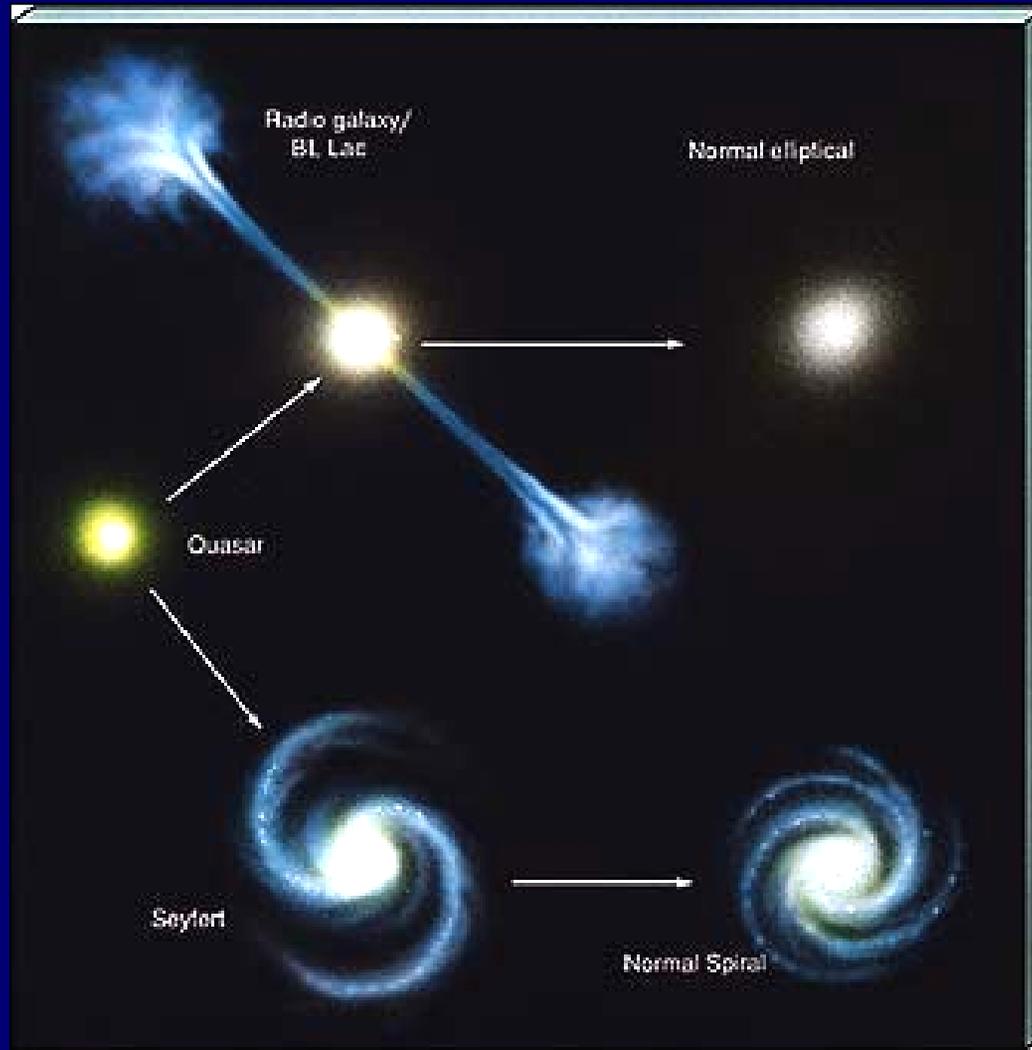
Esta é uma classe de objetos similares aos BL Lacs, exceto que eles tipicamente apresentam uma luminosidade muito maior, e seus espectros podem apresentar linhas de emissão largas.

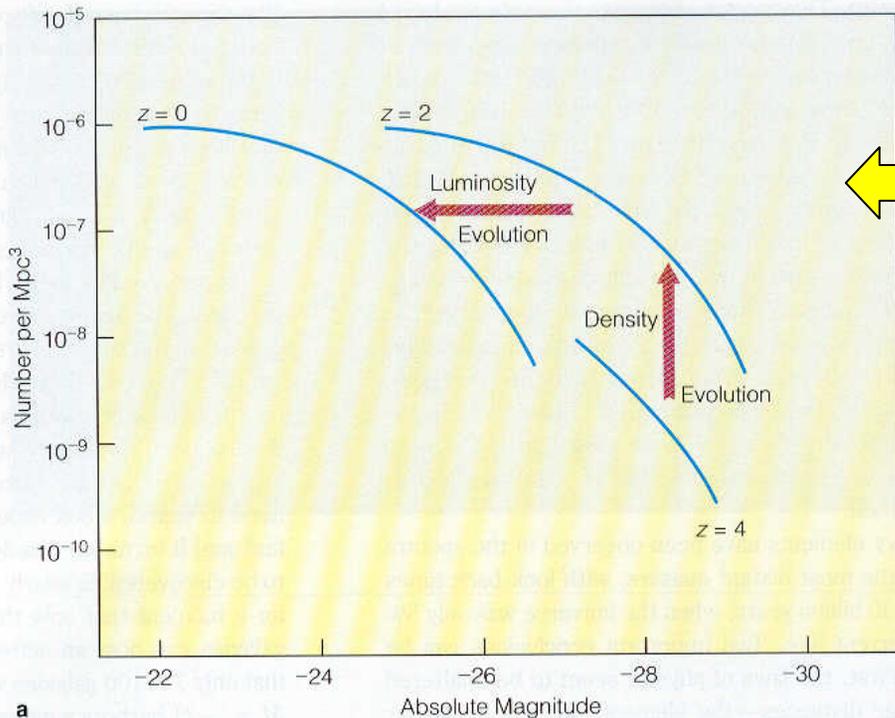
Atenção: Existe uma certa controvérsia sobre a divisão entre BL Lacs e OVVs, pois esta não é bem definida, sendo sensível a dependência da resolução temporal das observações efetuadas.

Evolução dos Quasares

Quasares e blazares --> Radiogaláxias --> Elípticas normais

QSOs --> Seyferts --> Espirais normais



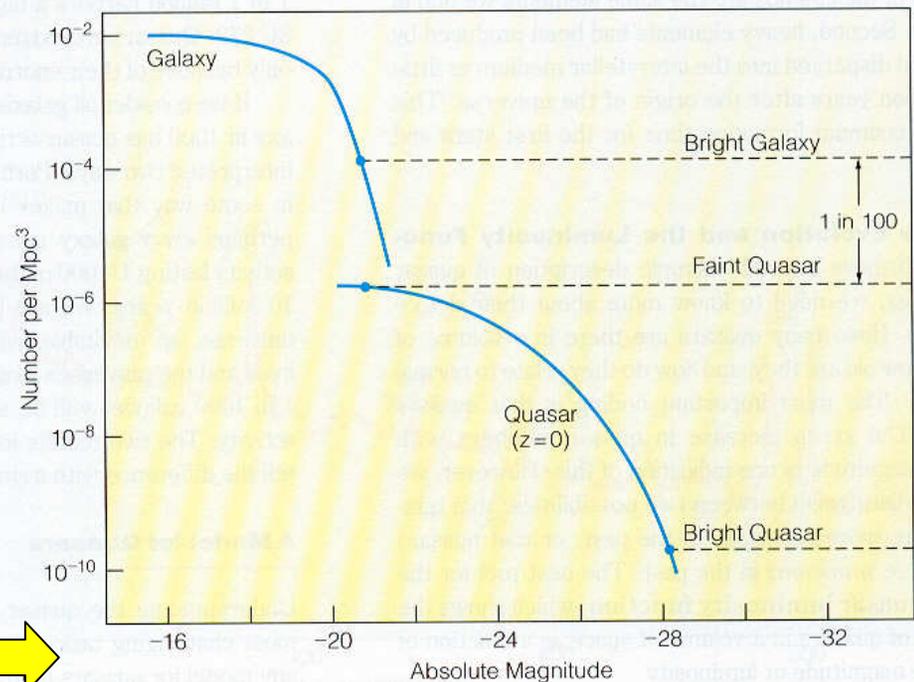


A LF de quasares em 3 diferentes épocas (redshifts).

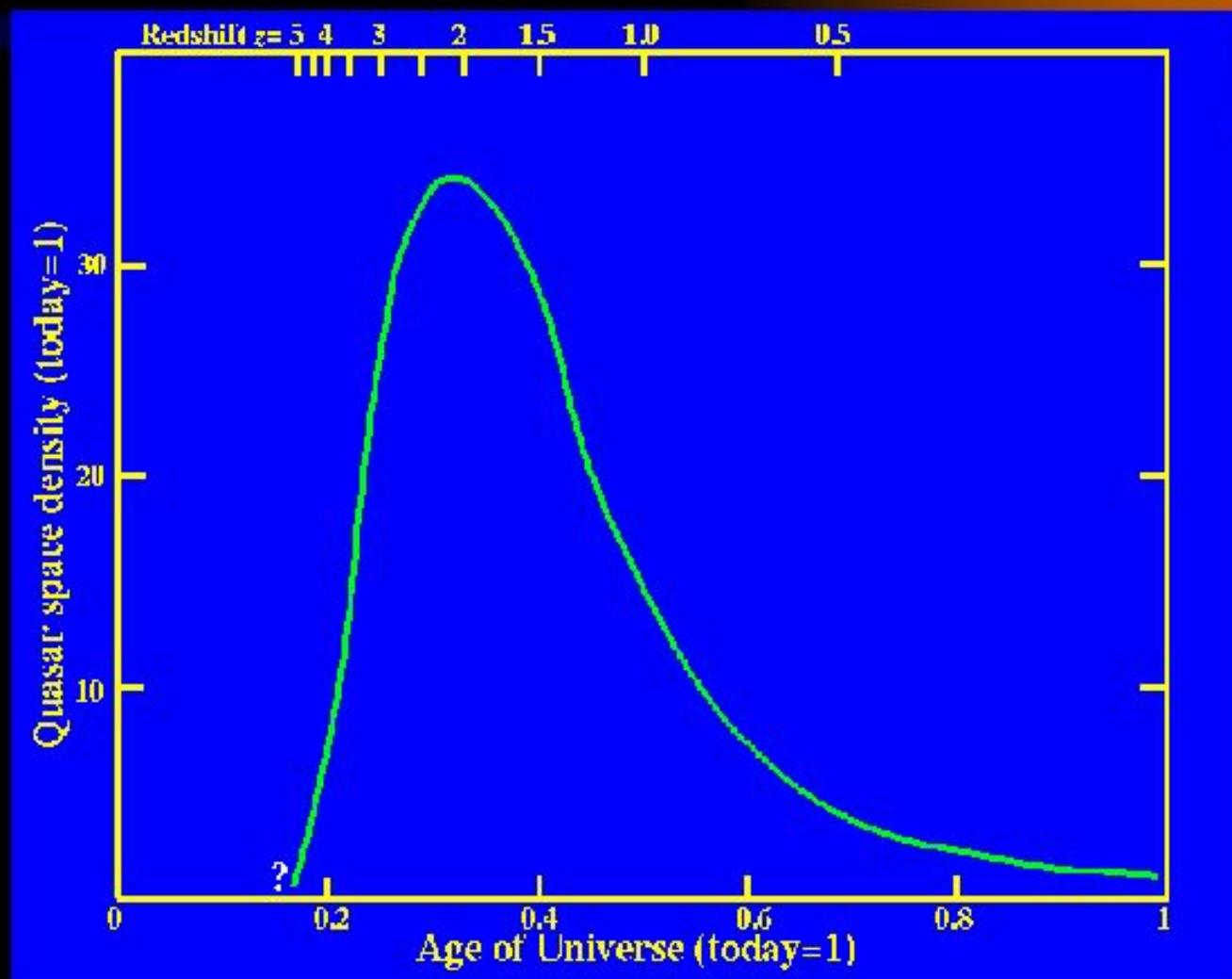
Em $z=0$, ela nos mostra a densidade espacial no Universo local. Em $z=2$ ela apresenta seu máximo. Antes de $z=2$, os quasares eram mais raros, o que sugere uma evolução em seu número.

A LF de quasares do Universo local comparada com a de galáxias.

A figura mostra que enquanto 1 em 100 galáxias brilhantes pode hospedar um quasar fraco, somente 1 em 10^6 pode hospedar um quasar brilhante.



Radio AGN evolution



Bibliografia

Astronomia e Astrofísica - Kepler S.O. Filho & Maria de Fátima O. Saraiva - arquivo .pdf no site <http://astro.if.ufrgs.br>

An Introduction to Modern Astrophysics - B.W. Carrol & D.A. Ostlie - Addison-Wesley Publishing Company, Inc - 1996.

Galaxies and Galactic Structure - D. M. Elmegreen - Prentice Hall - 1998.

Fundamental Astronomy - H. Karttunen et al. - Springer Verlag - 1996.

Astronomy Today - E. Chaisson & S. McMillan - Prentice Hall - 1999.

As Fornalhas do Universo - M.E.G. dal Pino & V. Jatenco-Pereira - Ciência Hoje vol. 27, n. 360, pag. 30.