



Universidade Federal do ABC

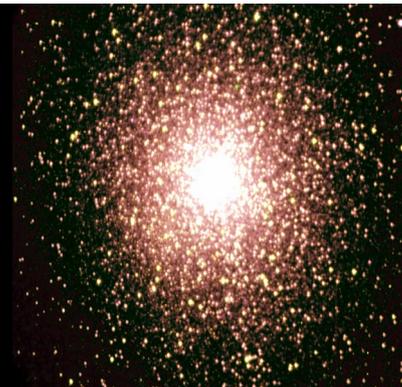
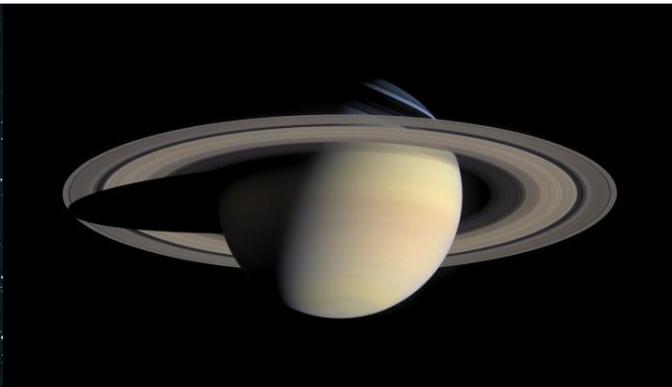
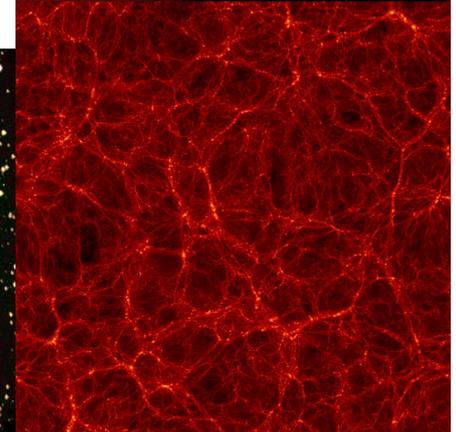
Noções de Astronomia e Cosmologia

14. Galáxias Ativas e Quasares

Prof. Pieter Westera

pieter.westera@ufabc.edu.br

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Astro.html>

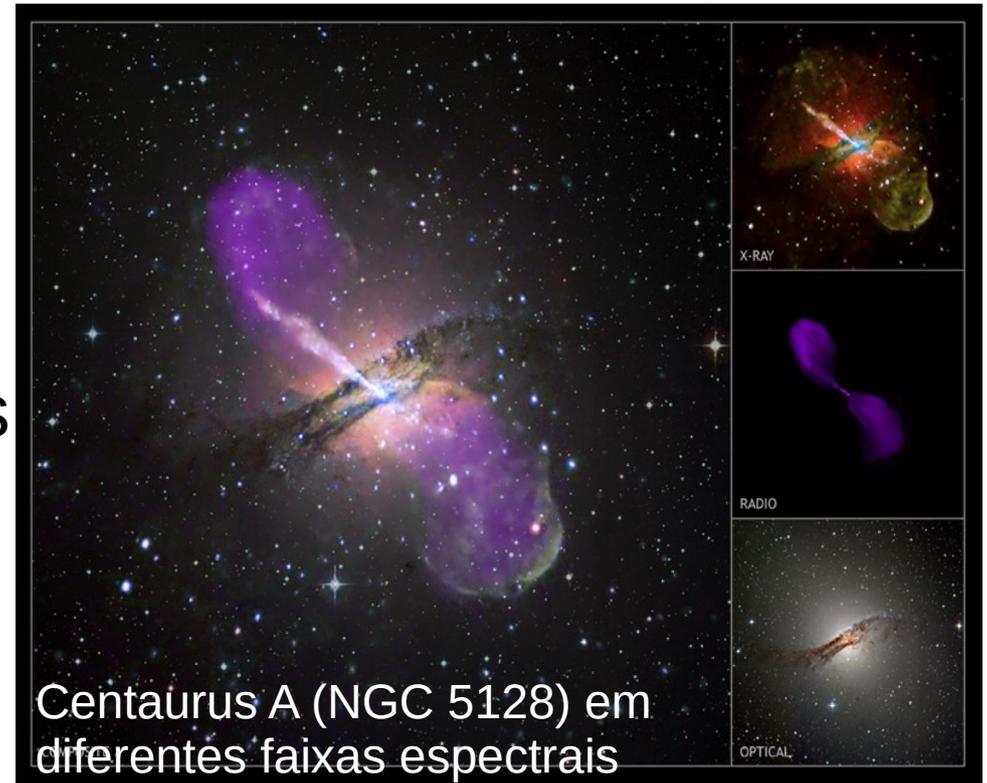


Galáxias Ativas e AGNs

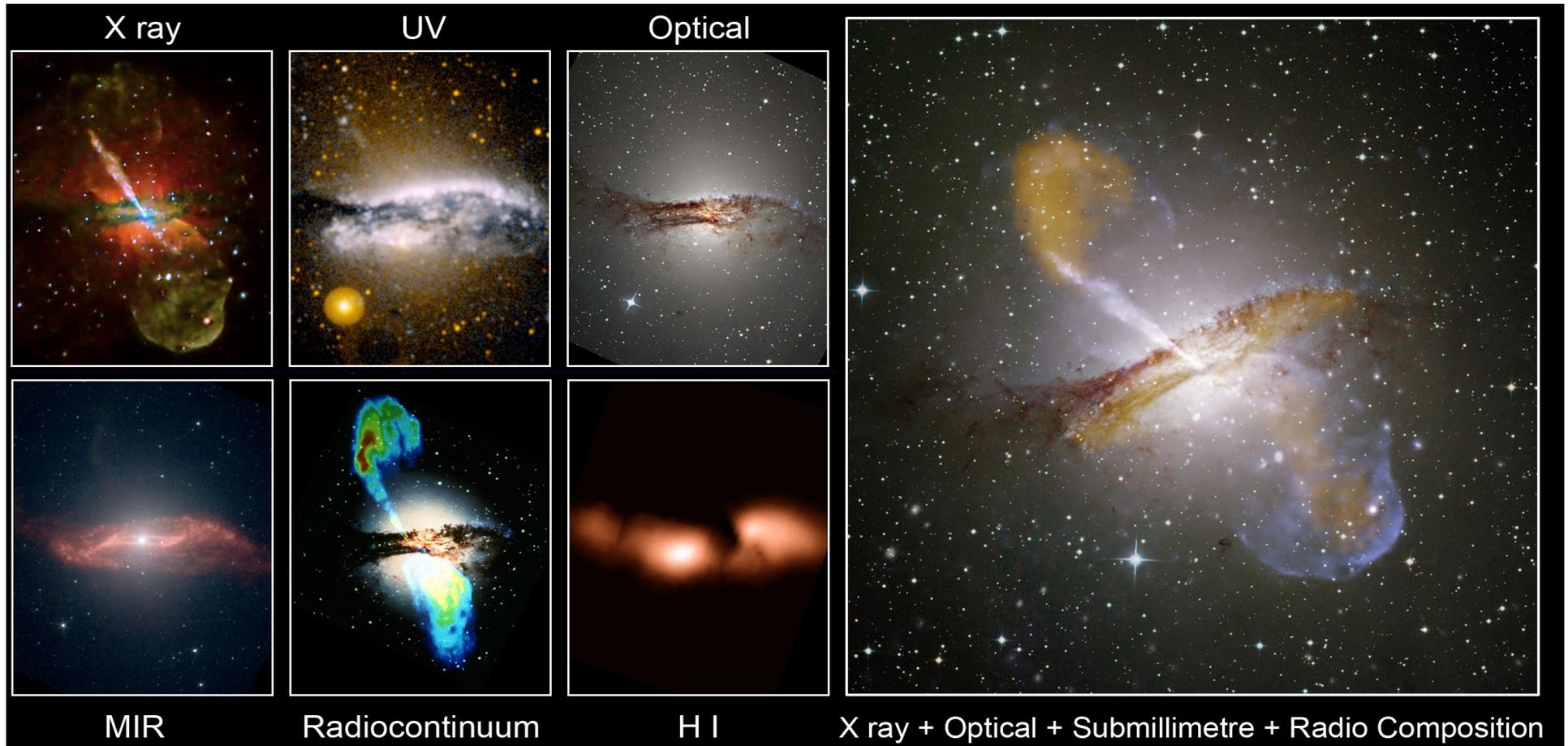
Galáxias Ativas mostram sinais de **atividade violenta** em várias partes do espectro.

A atividade provém dos seus **núcleos**, chamados **AGNs** (ingl. *Active Galactic Nuclei*).

Elas vêm em uma **variedade** de formas e “cores”, mas podem ser descritas por um **modelo unificado** que afirma que a atividade é devido a um **Buraco Negro Supermaciço** no **núcleo**.



Galáxias Ativas e AGNs



Centaurus A em mais faixas espectrais ainda

Galáxias Ativas e AGNs

Galáxias Seyfert

São na maioria **espirais**, compõem poucos ‰ de todas as galáxias, e são frequentemente **acompanhadas** por outras galáxias.

Elas têm **núcleos brilhantes** que são fontes de um **contínuo** sem propriedades distintivas, e mostram **emissão** bastante **variável** nos **raios X**.



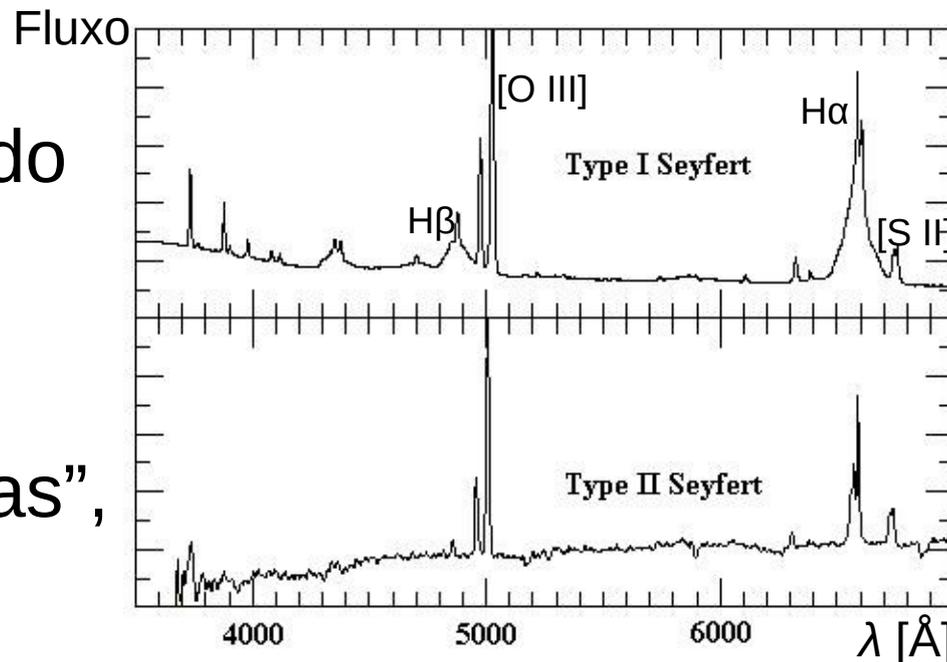
Galáxias Ativas e AGNs

Galáxias Seyfert

Seyfert 1: linhas de emissão **largas** de H I, He I e He II vindo do **núcleo** e linhas **estreitas** (mas ainda mais largas que linhas em galáxias normais), entre estas há linhas “proibidas”, p. e. [O III], [S II].

O **contínuo** e a emissão nos **raios X** são **fortes**.

Seyfert 2: Só linhas **estreitas**, o contínuo e a emissão nos raios X são **menos fortes**. A radiação nos raios X “faltando” parece ter sido **absorvida** por **gás denso**.



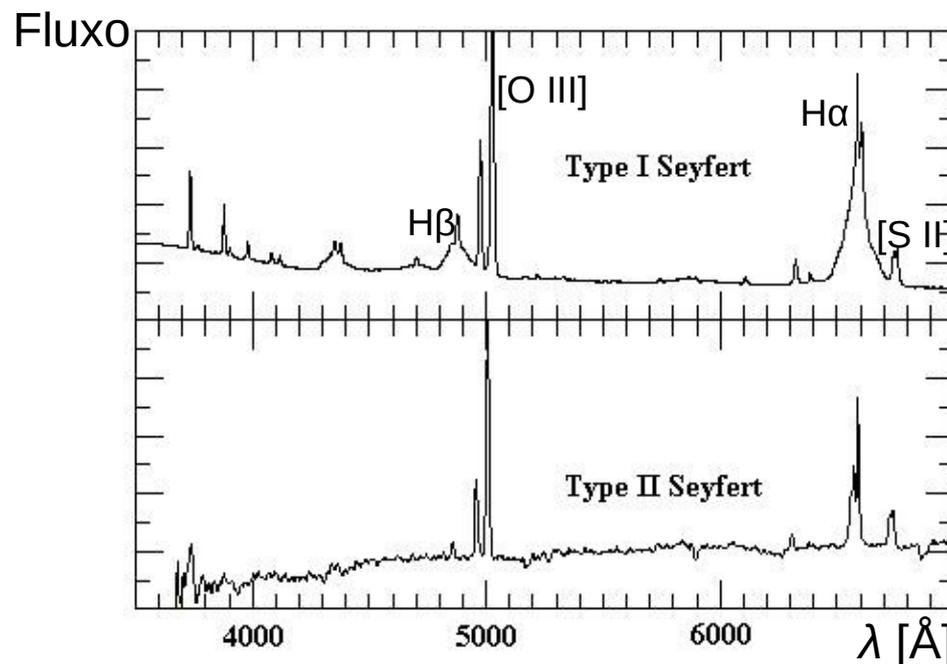
Galáxias Ativas e AGNs

Galáxias Seyfert

As **larguras** das linhas espectrais são atribuídas ao **efeito Doppler**, as **estreitas** vêm de **gás** movimentando-se com **~500 km/s**, e as **largas**, com velocidades de **1000 a 5000 km/s**.

Há tipos **intermediários** chamados **Seyfert 1.5**.

Algumas galáxias Seyfert 1.5 **mudaram** dentro de **poucos anos** para Seyfert 2.

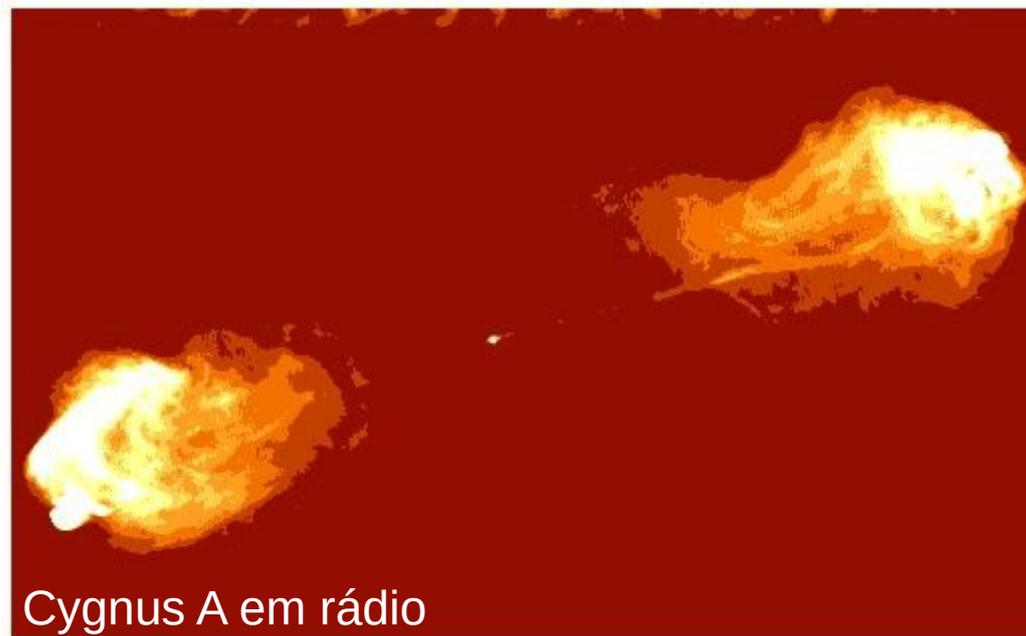


Galáxias Ativas e AGNs

Radiogaláxias

Irradiam extremamente **fortemente** no **rádio** (são “*radio-loud*”).

Cygnus A é o terceiro objeto mais brilhante no rádio do céu, após o Sol e um resíduo de supernova, só que a 240 Mpc de distância.



=> $L_{\text{radio}} = 4.8 \cdot 10^{37} \text{ W}$, várias milhões vezes mais brilhante que galáxias normais.

Em geral, galáxias ativas *radio-loud* são **elípticas**.

Galáxias Ativas e AGNs

Radiogaláxias

Igual como as galáxias Seyfert, **radiogaláxias** podem ter **linhas de emissão estreitas** => NLRG (*Narrow-Line Radio Galaxies*), ou **linhas largas** => BLRG (*Broad-Line Radio Galaxies*).

As **NLRG**, entre eles Cyg A, são **elípticas gigantes** (gE e cD).

As **BLRG** têm **núcleos brilhantes** e “**estelares**” (pontiformes em telescópios), com **envelopes fracos**.

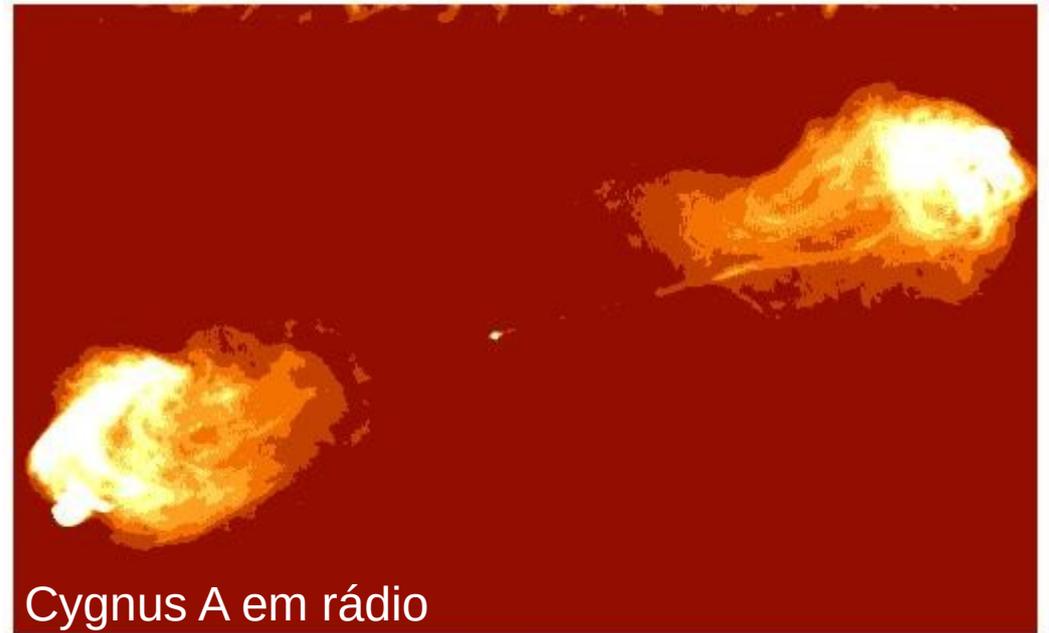


Galáxias Ativas e AGNs

Radiogaláxias: Lóbulos e Jatos

A luminosidade no rádio vem de um **caroço compacto** no núcleo e um **halo** do tamanho da galáxia ou mais, e/ou de um par de **lóbulos**.

Os lóbulos de Cyg A têm da ordem de 24 kpc de diâmetro.



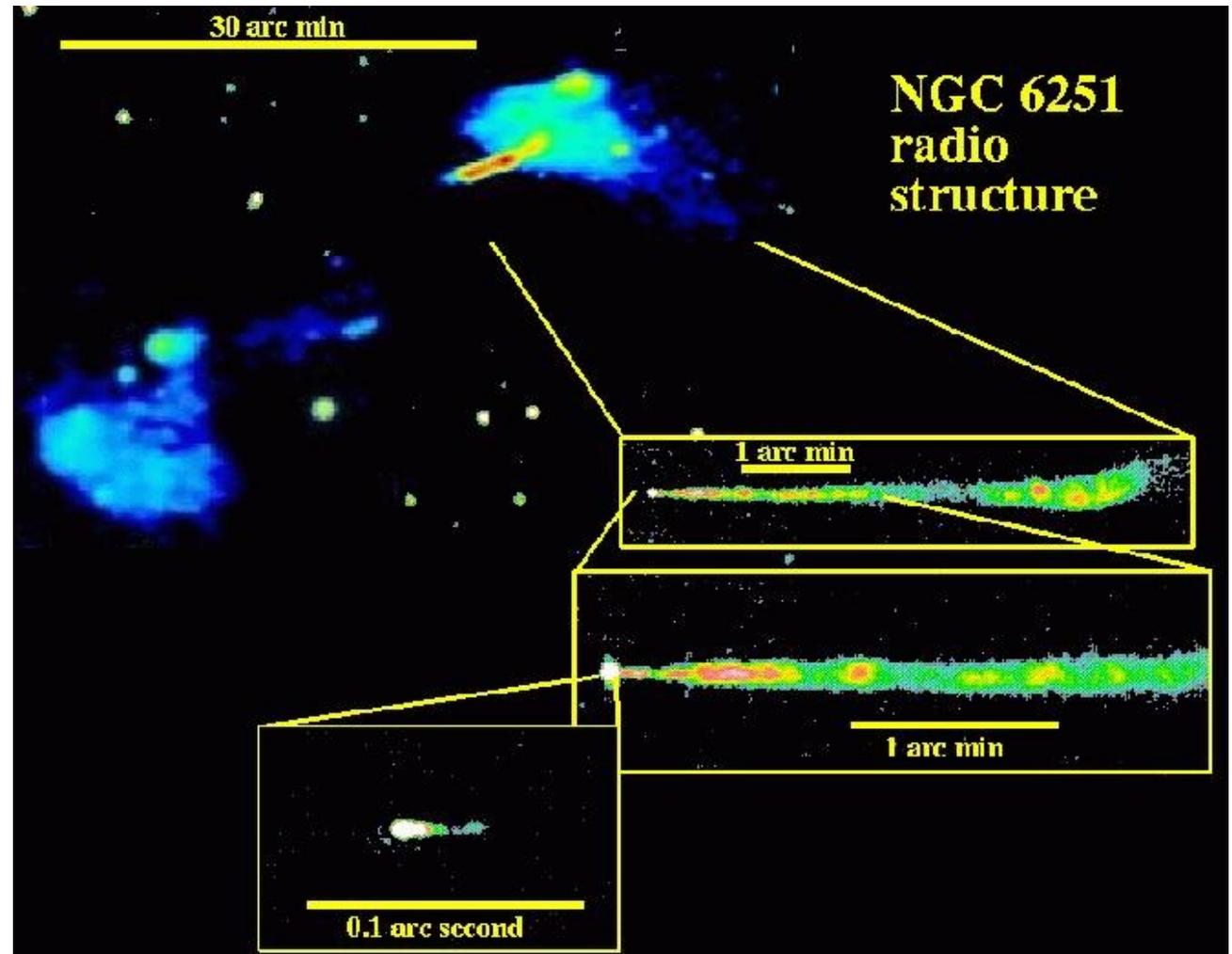
Cygnus A em rádio

Galáxias Ativas e AGNs

Radiogaláxias: Lóbulos e Jatos

Na maioria das radiogaláxias há **jatos colimados** ligando o caroço com os lóbulos.

Às vezes só se vê um lado do jato, mas isto deve ser um efeito observacional:



O jato de NGC 6251 pode ser detectado do núcleo até o lóbulo

Galáxias Ativas e AGNs

Radiogaláxias: Lóbulos e Jatos

Como, no **referencial** da **Terra**, o jato se propaga com velocidade quase c , ocorre um efeito relativístico chamado

colimação relativística, em inglês *relativistic beaming* ou *headlight effect*: Quase toda a radiação é emitida “pra frente”, e quase nada “pra trás” (vide aula Relatividade).

Quando o jato faz um **ângulo pequeno** com a **linha de visada**, o lado **apontando pra nós** aparece muito mais **brilhante**.

Além disso, o outro lado, chamado **contrajato**, pode se encontrar atrás de um disco de poeira, sofrendo extinção.



Galáxias Ativas e AGNs

Lóbulos e Jatos

12/07/2018: Detecção de **neutrinos** provindo de um blazar (um tipo de quasar com um dos jatos direcionado para nós).

Esses neutrinos e **raios-gama**, por sua vez, são produzidos no **jato** por raios cósmicos de altíssimas energias (partículas aceleradas a velocidades relativísticas).

É a primeira evidência direta de uma **fonte aceleradora** de **raios cósmicos fora** de nossa **Galaxia!**

Galáxias Ativas e AGNs

Lóbulos e Jatos

Esta radiogaláxia está se movimentando no gás interaglomerado do seu aglomerado (Perseu), “deixando” os jatos e lóbulos pra “trás”.

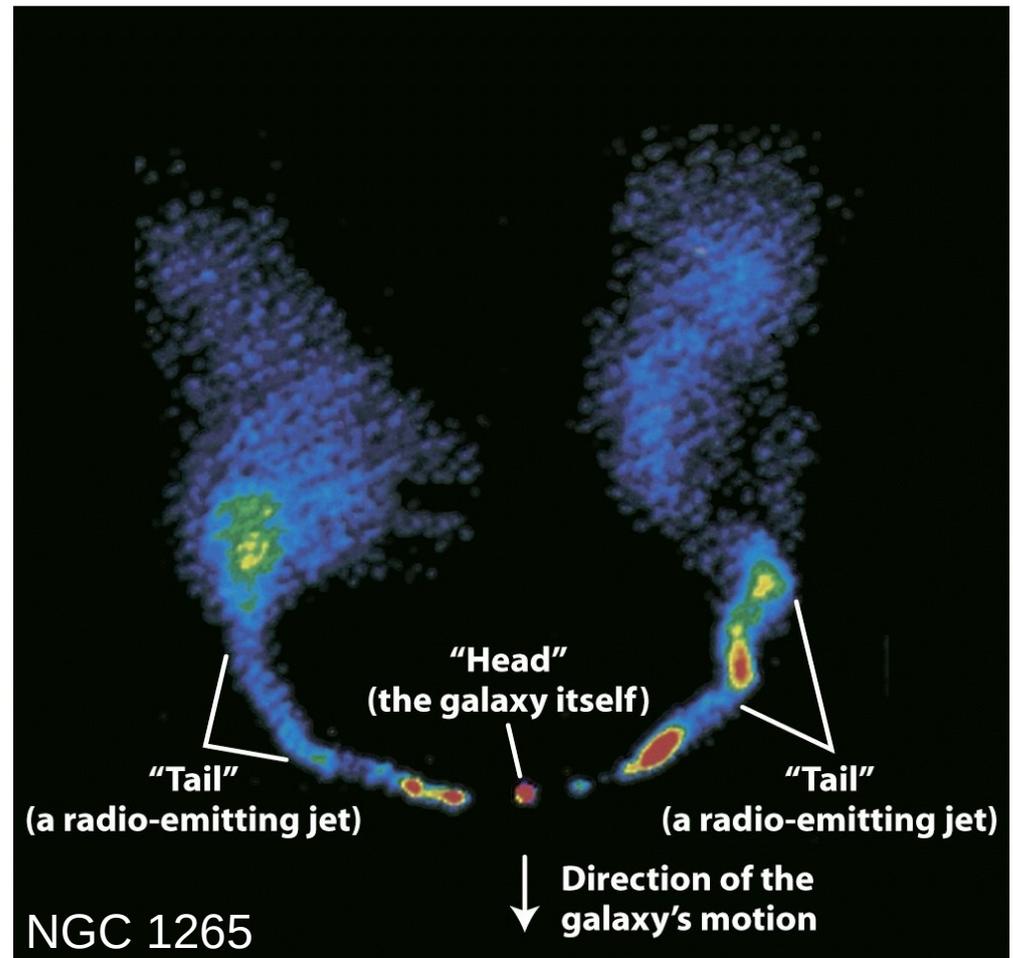


Figure 25-10
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

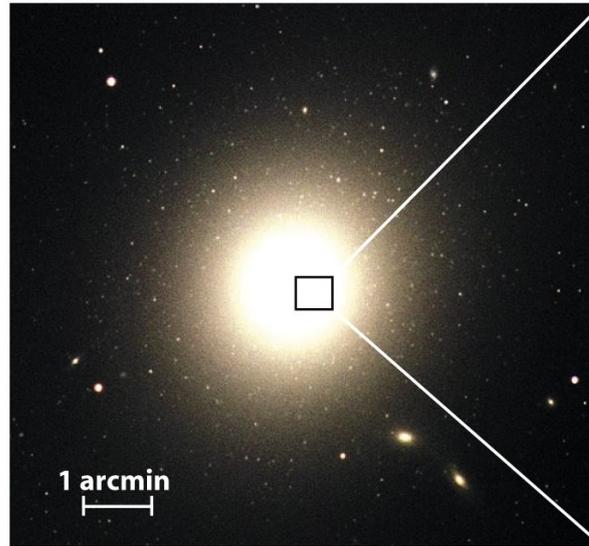
Galáxias Ativas e AGNs

Lóbulos e Jatos

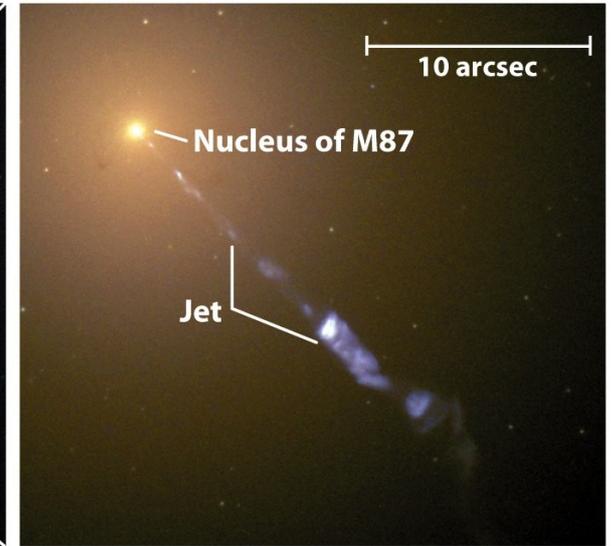
A galáxia cD central do aglomerado de Virgo, M87, também tem um jato, consistindo de nós, que é brilhante também no visível e nos raios X.

M87 é uns 50 vezes mais brilhante nos raios X que no rádio.

Também há evidências do contrajato.

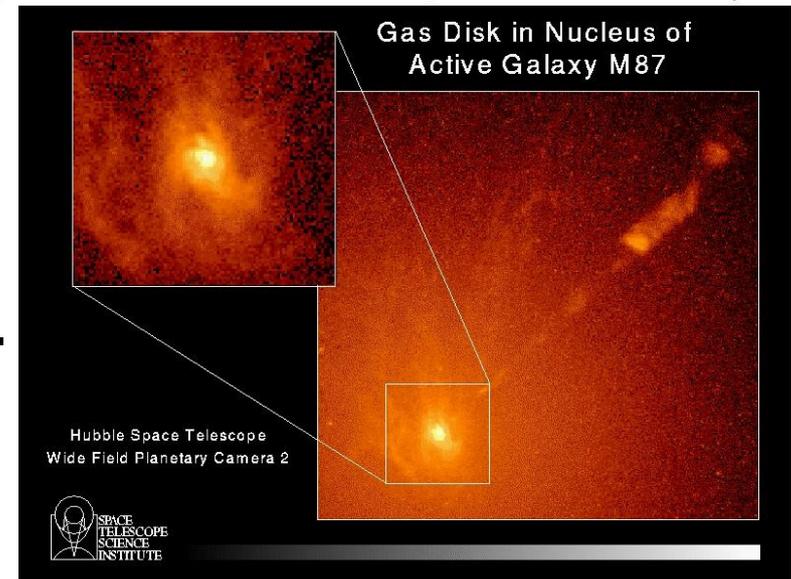


(a) The giant elliptical galaxy M87



(b) A shorter exposure reveals M87's jet

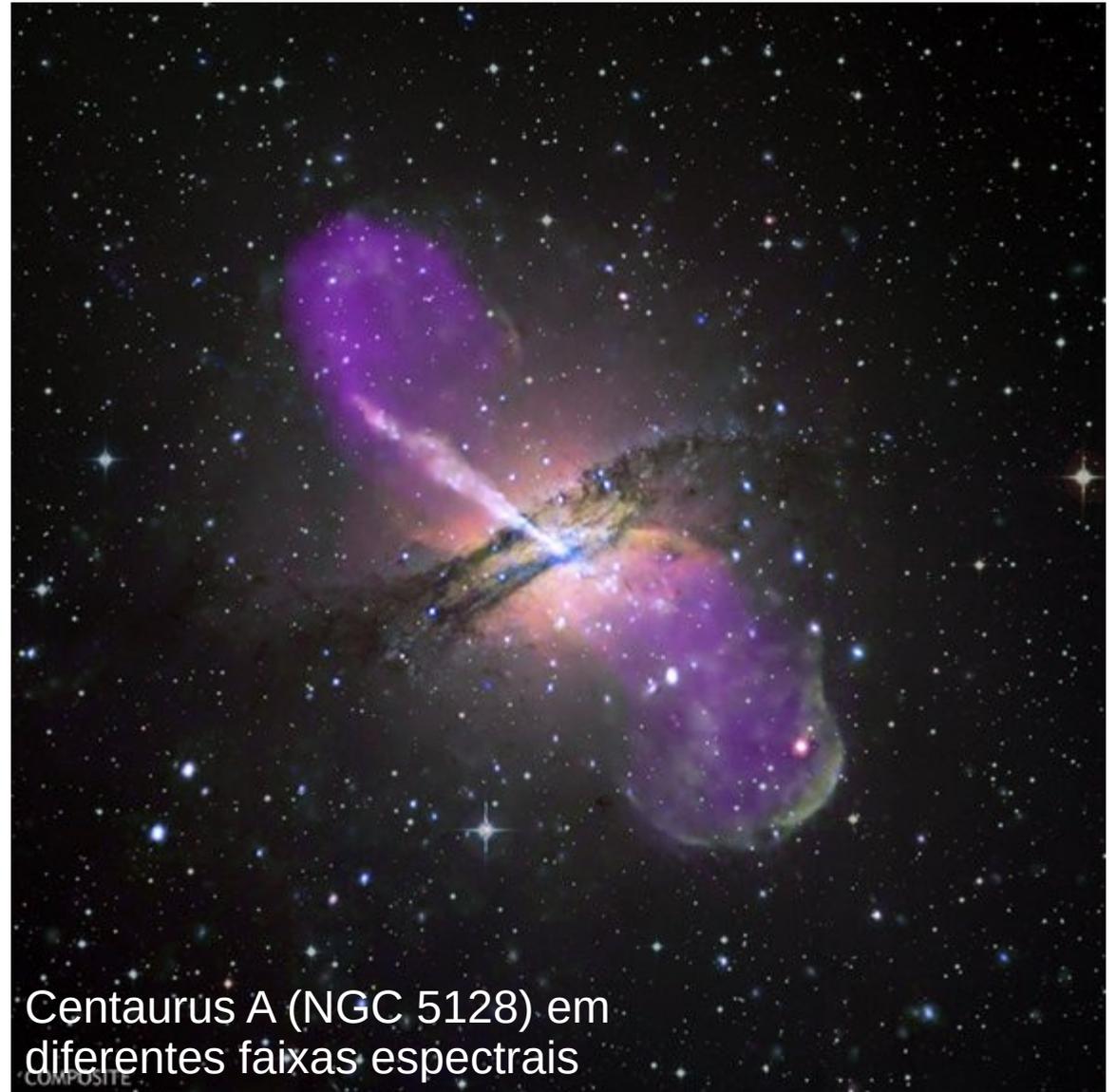
Figure 25-8
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company



Galáxias Ativas e AGNs

Lóbulos e Jatos

O AGN mais próximo é Centaurus A, a ~ 7 Mpc, aqui mostrado sobrepondo as imagens no óptico, no rádio (lóbulos) e nos raios X (jato).



Centaurus A (NGC 5128) em diferentes faixas espectrais

Galáxias Ativas e AGNs

Espectros de AGNs

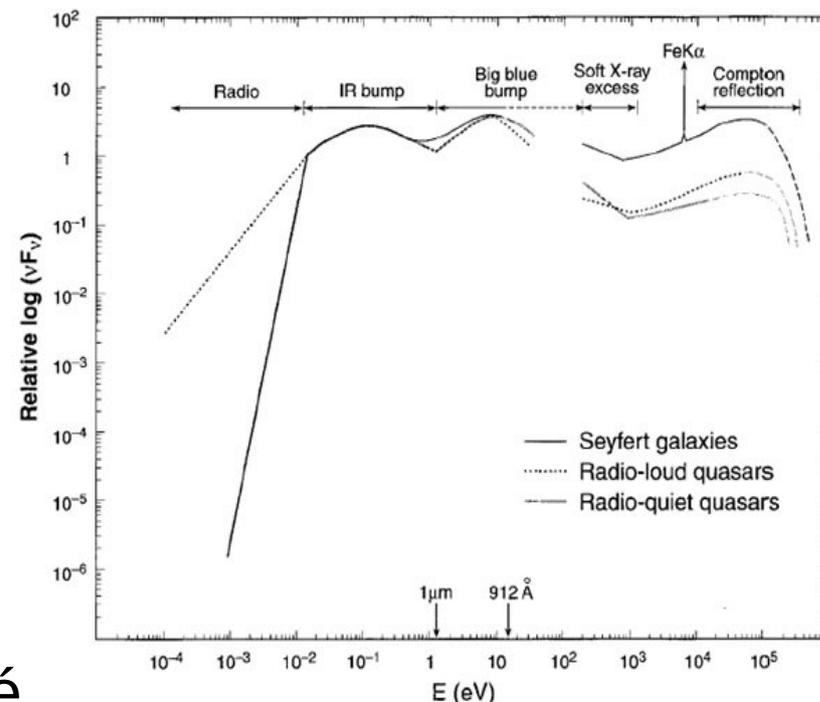
Ao lado um esboço esquemático da parte **contínua** (sem as linhas espectrais) do **espectro** de um **AGN**:

O *Big blue bump* é provavelmente **radiação térmica** de um **disco** de **acrecção** ópticamente denso.

O *IR bump* no **infravermelho** também é **térmico**, provavelmente emitido por grãos de **poeira** de ≤ 2000 K.

A radiação em raios X “mole” ainda não está bem entendida.

O pico mais energético é devido ao processo **Compton inverso**, os jatos **aumentando** a **energia** de **fótons**.



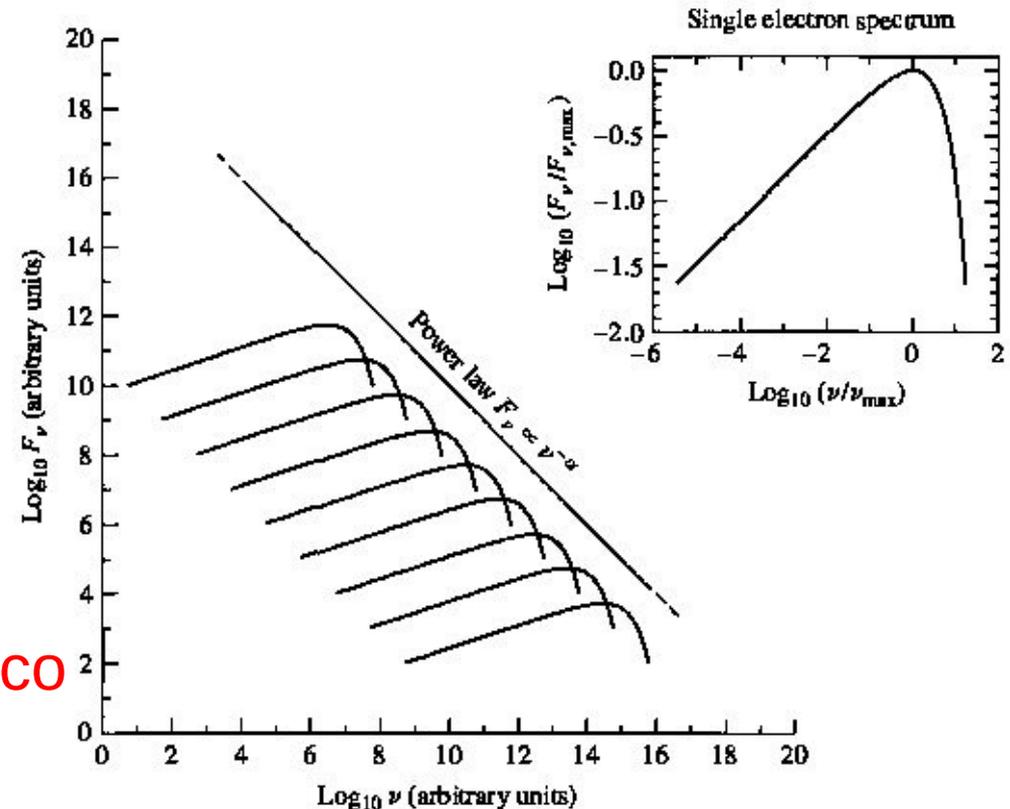
Galáxias Ativas e AGNs

Espectros de AGNs

Também há uma contribuição de **radiação síncrotron**, indicativa dos **jatos energéticos** (lembra dos jatos de Estrelas de Nêutrons?).

Esta contribuição é a soma das emissões síncrotron de **elétrons relativísticos** seguindo as linhas de um **campo magnético em caminhos helicoidais**, e tem um espectro de **potência**,

F_ν prop. $\nu^{-\alpha}$.



Galáxias Ativas e AGNs

Espectros de AGNs

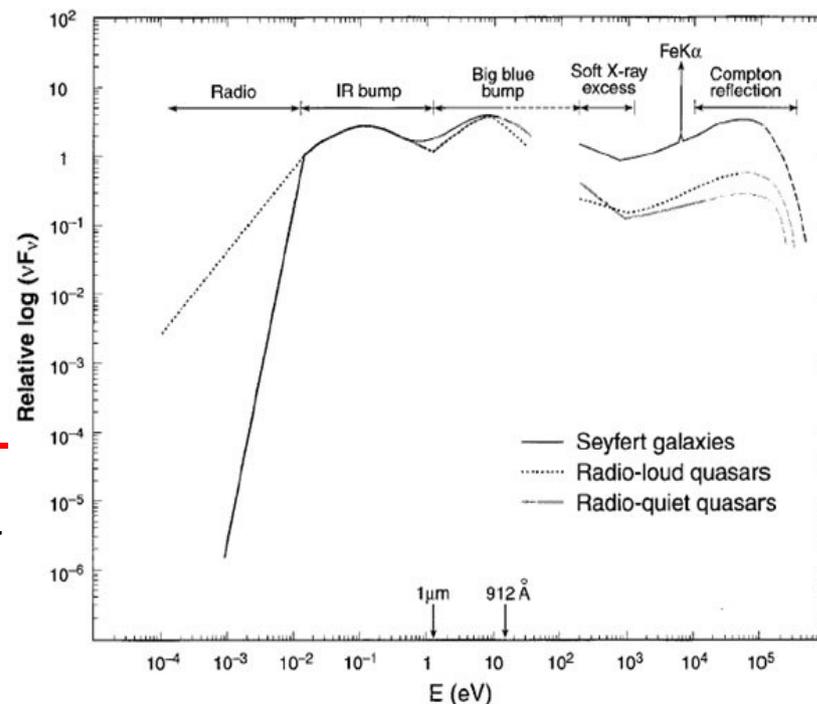
Pra parte à esquerda do *Turnover* existem várias explicações possíveis:

- **Auto-absorção síncrotron**: Efeito, naquele o **plasma** de **elétrons relativísticos** dos jatos parcialmente absorve a sua própria radiação, causando um espectro de potência com $\alpha = -2.5$.

- A parte Rayleigh-Jeans da radiação **térmica** de grãos de **poeira**.

- Em galáxias *radio-loud* poderia ser uma combinação de contribuições térmicas e não-térmicas.

Ainda há muitas **incertezas** na interpretação dos espectros de AGNs.



Galáxias Ativas e AGNs

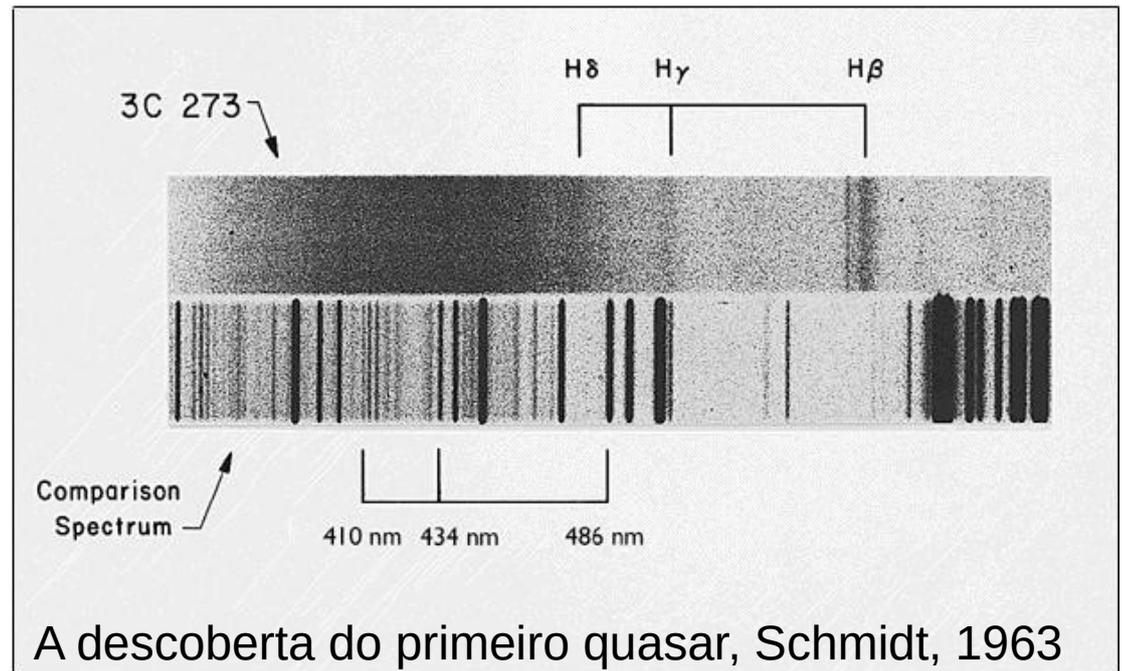
Quasares

Quasares (*QU*Asi-*Stell*Ar *Radio sources*) ou QSRs aparecem **pontiformes** em telescópios.

Foram tidos por estrelas bizarras, por que tinham linhas espectrais desconhecidas, até que estas foram identificadas como linhas de hidrogênio deslocadas por **redshifts altas**.

=> **muito distantes** (3C 273: $z = 0.158 \Rightarrow d \approx 620$ Mpc)

=> intrínsecamente **muito brilhantes**: de 10^{38} a 10^{41} W, uns 100 000 vezes mais energéticas que a Via Láctea.



Galáxias Ativas e AGNs

Quasares

Às vezes, o *redshift* é muito alto mesmo, até $z \sim 7.642$ (J0313–1806).

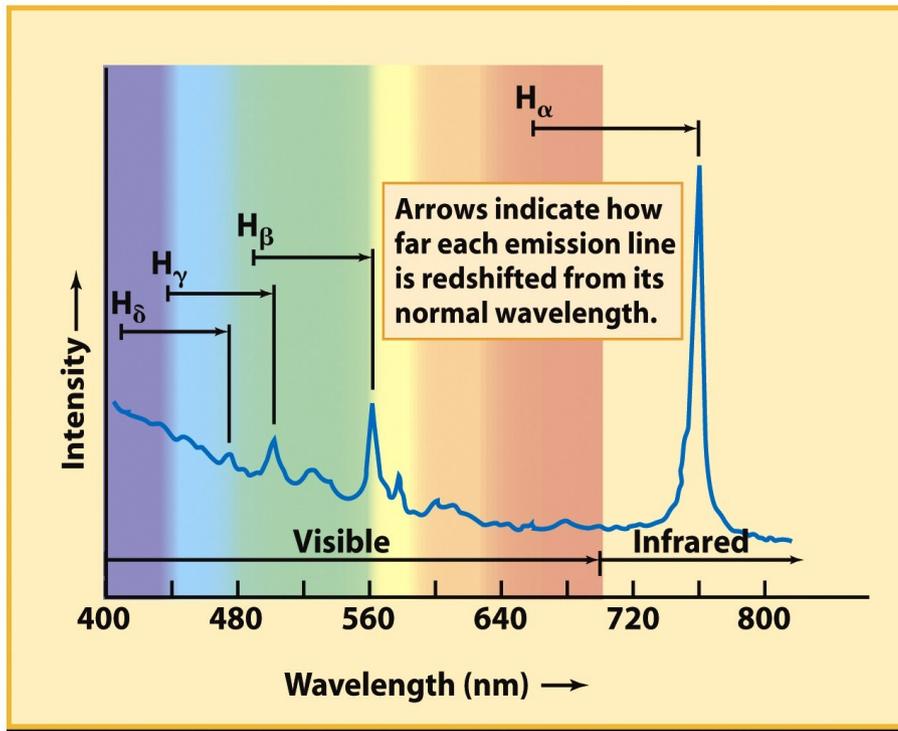


Figure 25-3
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

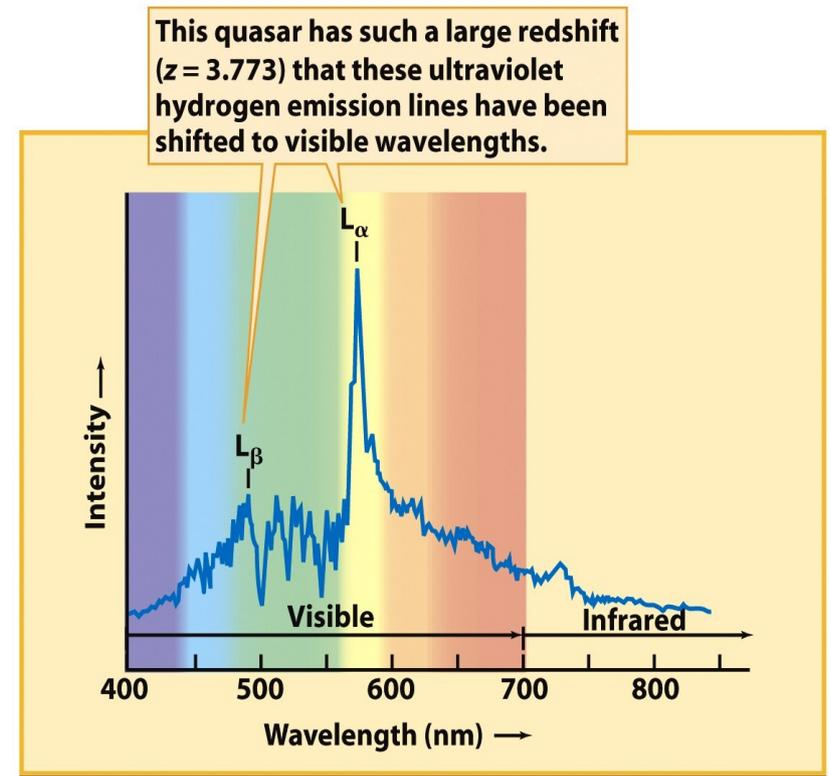
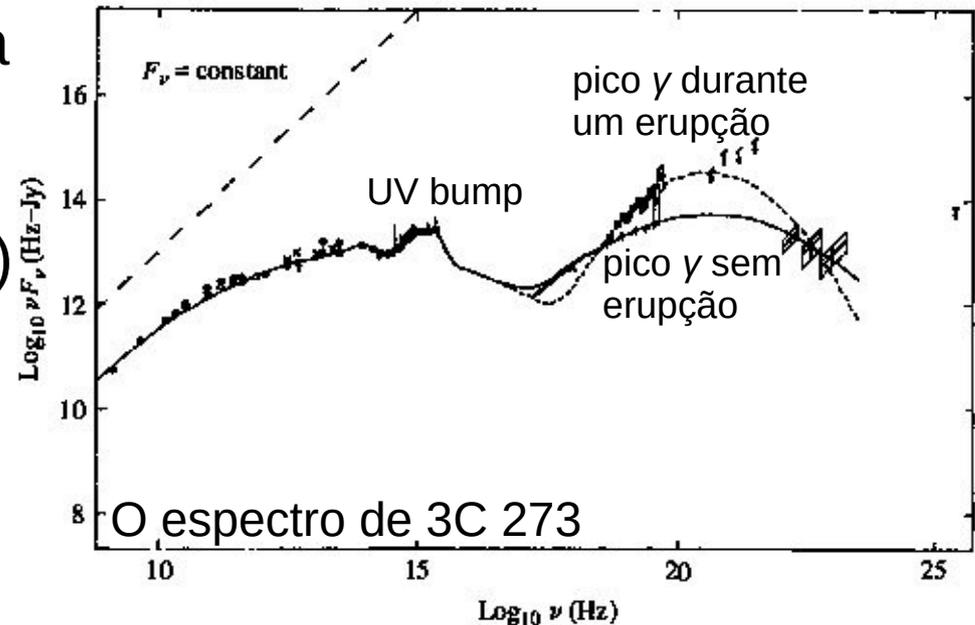


Figure 25-4
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Galáxias Ativas e AGNs

Espectros de Quasares

- cobrem **15 ordens** de grandeza em **frequência ν** .
- ν **baixas**: radiação do **jato** (em outros quasares menos intensa)
- **pico** nos **raios γ próximos**, em outros AGNs, o pico pode se encontrar no **infravermelho**, ou nos **raios X**
- O **UV bump** é comum em espectros de quasares.
- **Linhas** de absorção **alargadas** pelo **efeito Doppler** (velocidades até $> 10\,000$ km/s)
- Linhas de absorção devido a material entre o quasar e a Terra (=> final da aula).



Galáxias Ativas e AGNs

Quasares e objetos afins: Terminologia

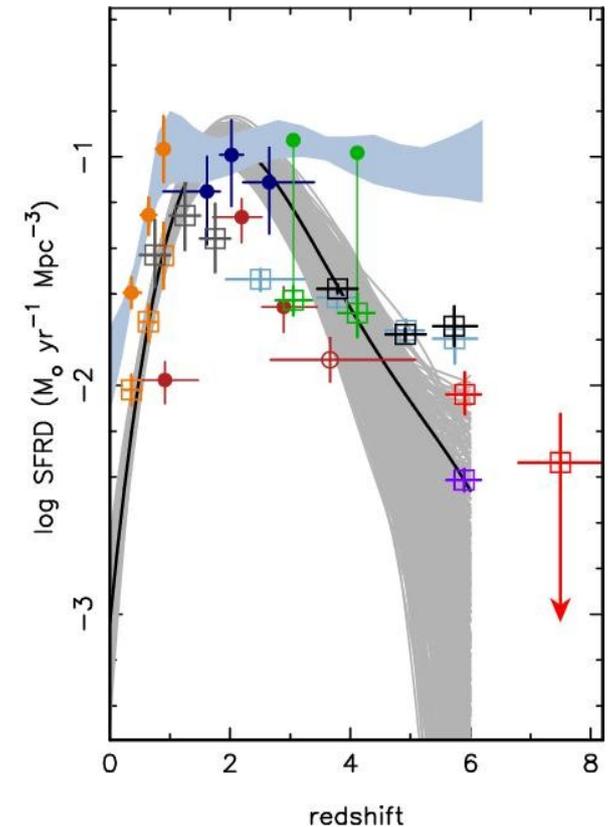
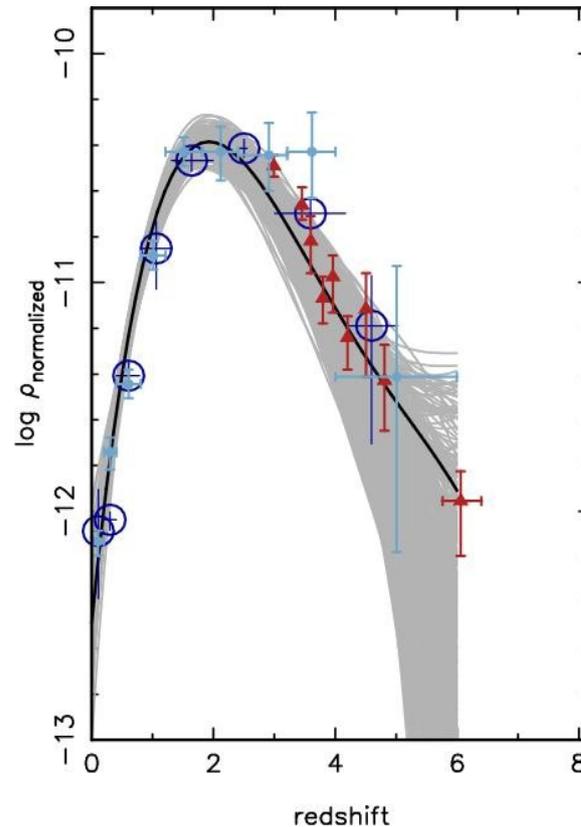
Objetos similares, mas não necessariamente brilhantes no rádio, são chamadas **QSOs** (*Quasi-Stellar Objects*). Frequentemente, Quasar e QSO são usados como **sinônimos**.

Quem quiser pode distinguir entre ***radio-quiet QSOs*** e ***radio-loud QSOs***, ou entre ***radio-quiet Quasares*** (nome contraditório) e ***radio-loud Quasares***.

Galáxias Ativas e AGNs

Evolução dos Quasares

Olhando para a **densidade comoviente de quasares** em função do *redshift*, vemos que no **passado**, a $z \sim 2$, **quasares brilhantes**, q. d. de $M_B < -25.9$, eram mais que 1000 vezes **mais frequentes** que hoje.



Galáxias Ativas e AGNs

Evolução dos Quasares

Aqui a evolução com o **tempo**.

Foi o **número** de quasares que **diminuiu**, ou as suas **luminosidades**?

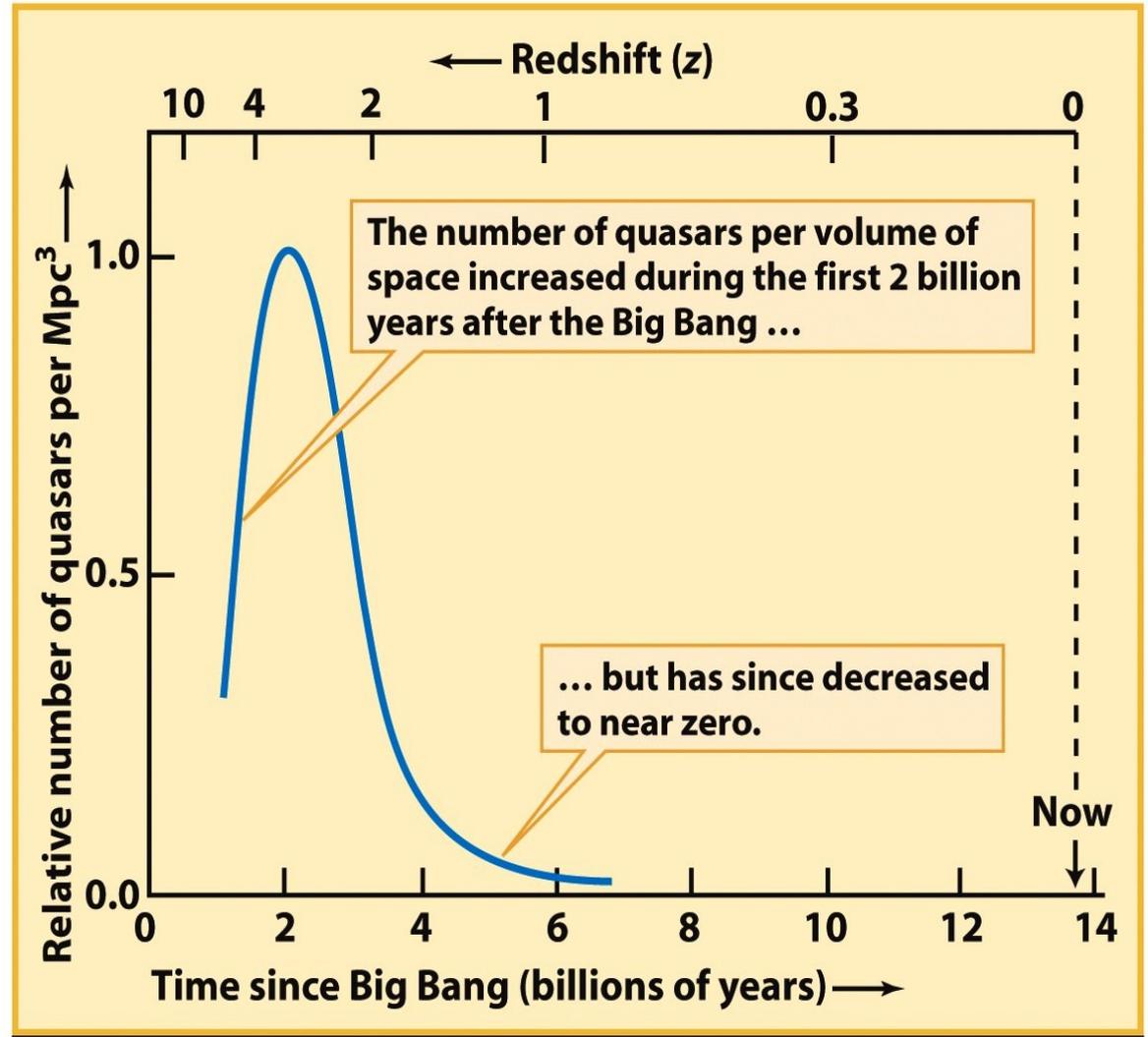


Figure 25-5
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

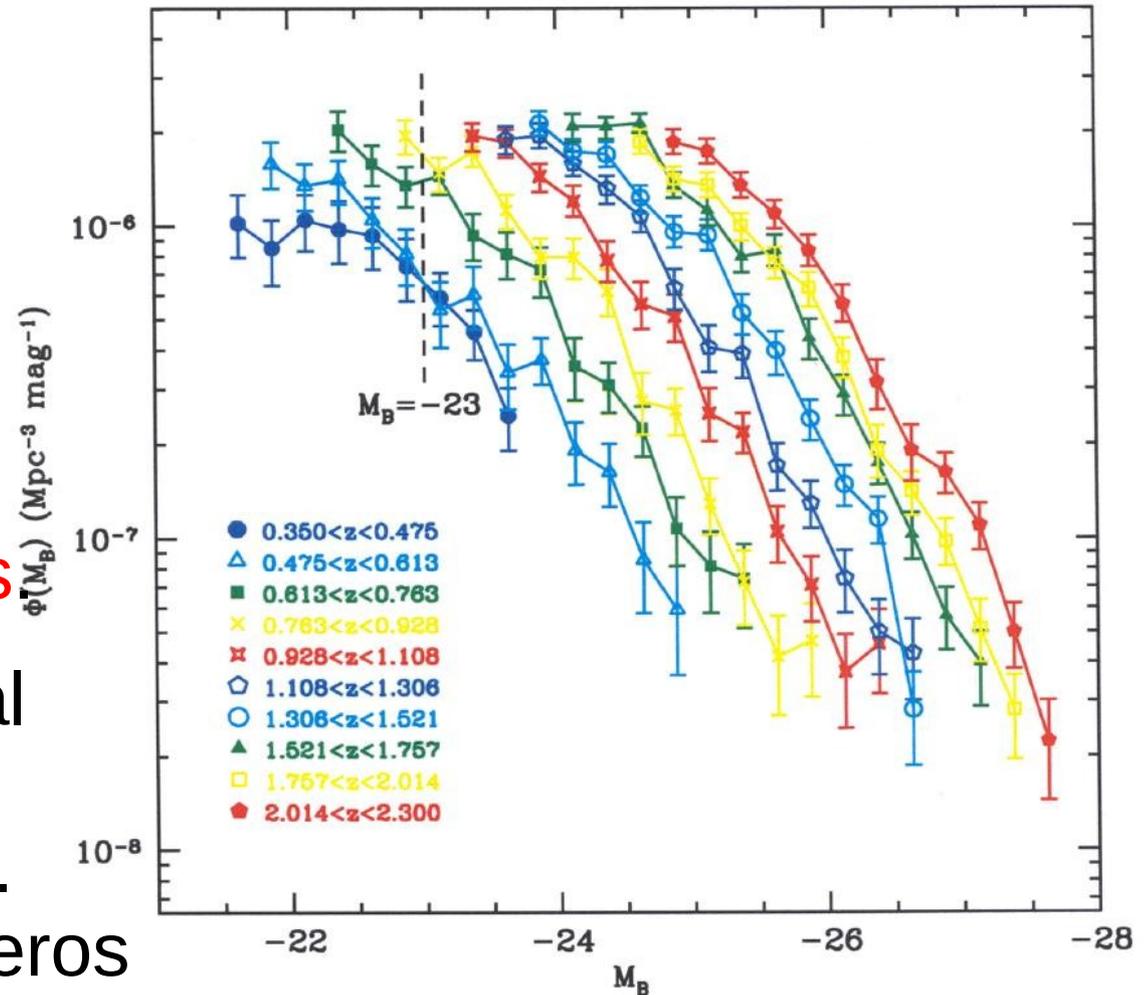
Galáxias Ativas e AGNs

Evolução dos Quasares

A **evolução** da **função de luminosidades** com o **redshift** desde $z = 2$ sugere a segunda opção, **queda de luminosidades**

Deslocamento horizontal
=> deslocamento para luminosidades menores.
(vertical seria para números menores)

=> Os **quasares** estão “**apagando**”.



Galáxias Ativas e AGNs

Evolução dos Quasares

Em 2003, Dunlop et al. encontraram, que **galáxias ativas** em **alto redshift** são essencialmente as **mesmas galáxias** que aquelas que hoje têm **Buracos Negros Supermaciços**, de $\sim 10^9 M_{\odot}$, mas não necessariamente são ativas.

Provavelmente a **atividade** de um quasar dura apenas por uma escala de tempo de queda livre da galáxia, enquanto **material** está **caindo** dentro do **Buraco Negro**.

=> **Quasares** estão “**apagando**” por **falta** de **combustível**.

Galáxias Ativas e AGNs

Evolução dos Quasares

O que pode **reacender** a **atividade** são **interações** com outras **galáxias** que podem **remover** o **momento angular** de um **disco**, fazendo ele **cair** no **centro** da galáxia.

Fusões também podem fornecer o combustível, o que dá outra explicação, por que AGNs eram mais numerosos a $z \sim 2$, quando fusões estavam mais frequentes.



Galáxia ativa PKS2349-014 interagindo com uma outra galáxia

Galáxias Ativas e AGNs

Evolução dos Quasares

Do *Big Bang* até $z = 4$, a densidade comovente de quasares aumentou, época naquela eles ainda estavam se formando (Os Buracos Negros centrais das galáxias ainda estavam crescendo). Em $z = 2$, eles devem ter sido “prontos”.

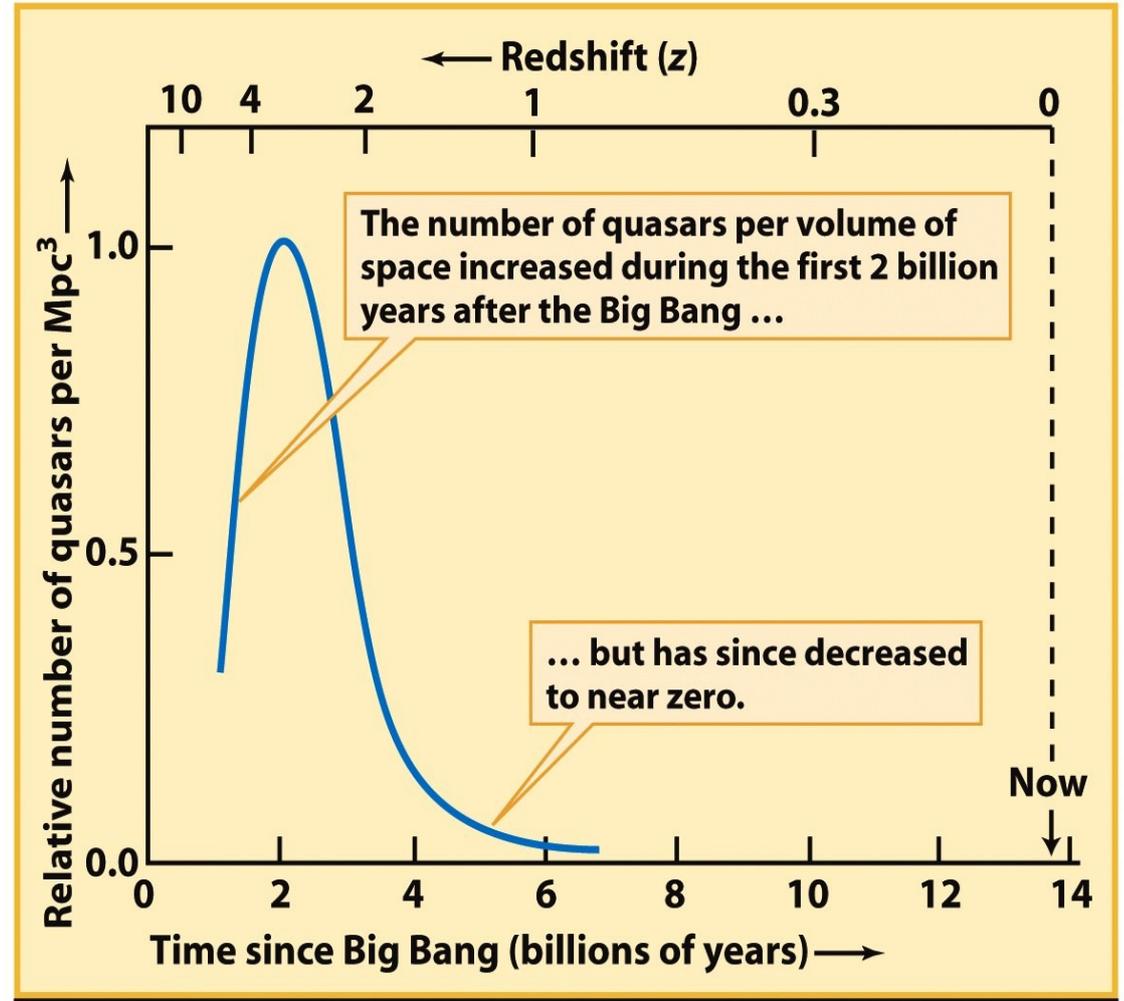


Figure 25-5
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Galáxias Ativas e AGNs

Variabilidade de AGNs

As partes diferentes dos **espectros** de AGNs variam em **escalas de tempo diferentes**:

- O **contínuo** e as **linhas largas** podem variar por um **fator dois** em **dias** a **meses**, as linhas ficando atrás do contínuo por escalas de tempo similares.
- As **linhas estreitas** mostram **pouca variabilidade**.
- Nos **raios X** e no **óptico** pode ter variações de poucos por centos em **poucos minutos**.
- Há variações de **vários anos** também.

Galáxias Ativas e AGNs

Variabilidade de AGNs

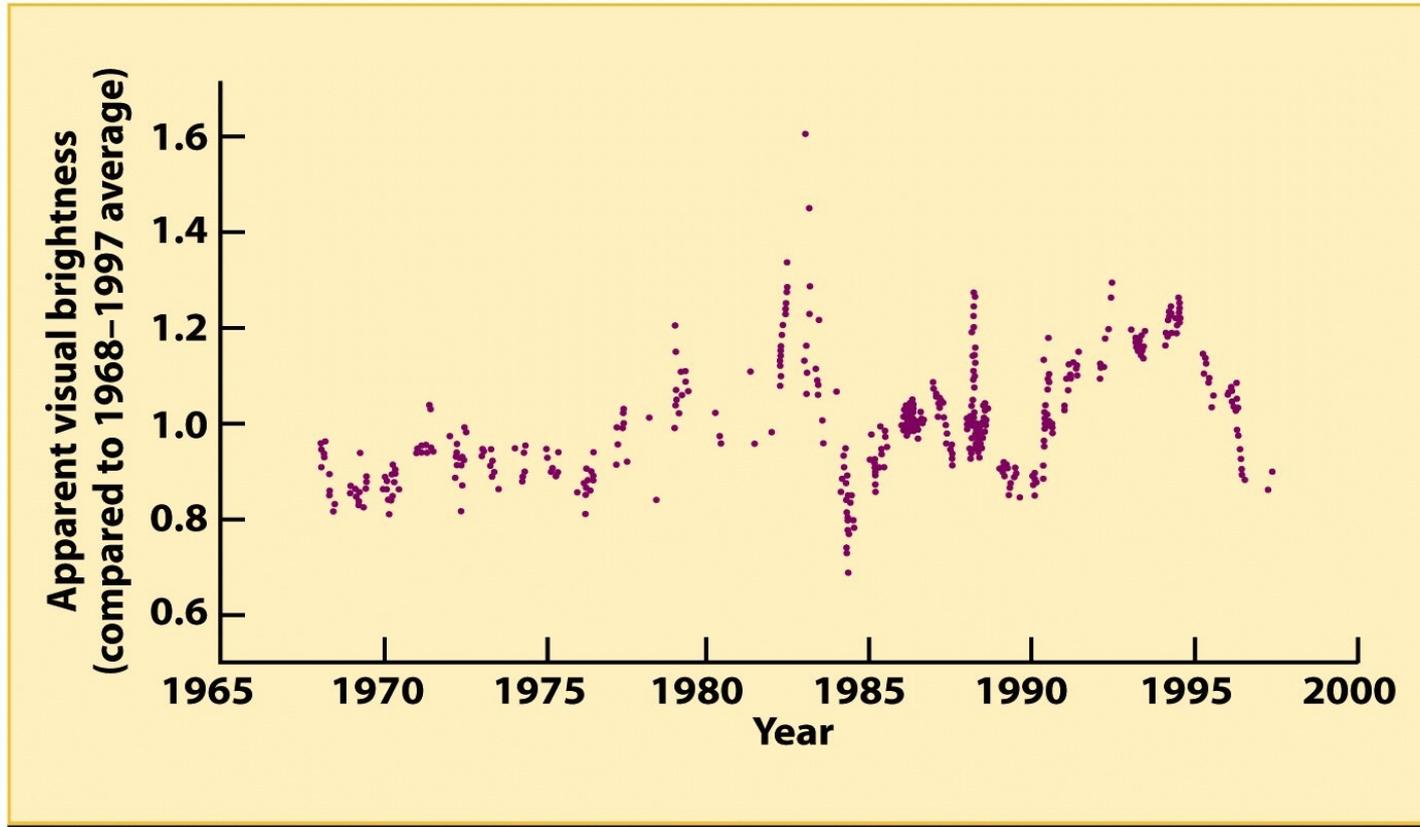


Figure 25-15
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

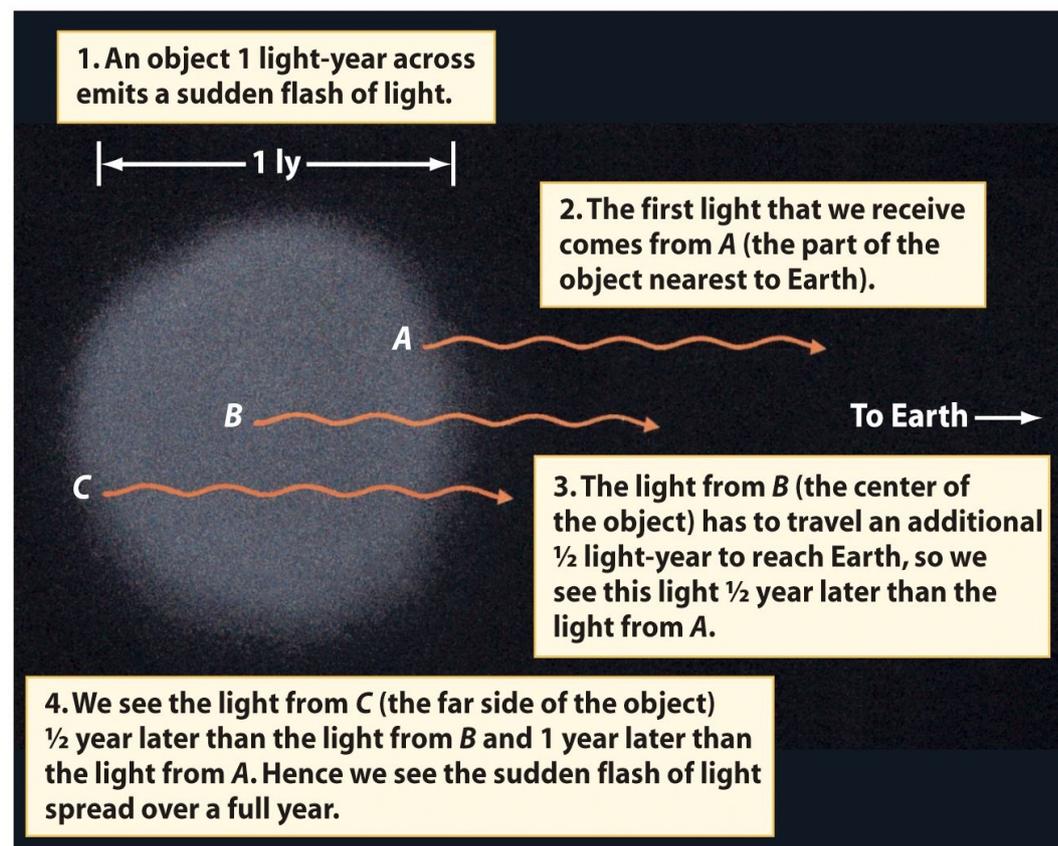
O Modelo Unificado de AGNs

Uma Dica para chegar no Modelo

As **escalas** de **tempo** das **variações** nas diferentes partes dos **espectros** dão uma dica quanto aos **tamanhos** dos **componentes** emitindo estas **radiações**:

$$R \sim c \cdot \Delta t / 2$$

ou, para um componente opaco (sem radiação vindo do lado de trás): $R \sim c \cdot \Delta t$



Se o quasar se encontra a *redshift* z , as ondas são esticadas no caminho (dilatação cosmológica do tempo => aula galáxias I):

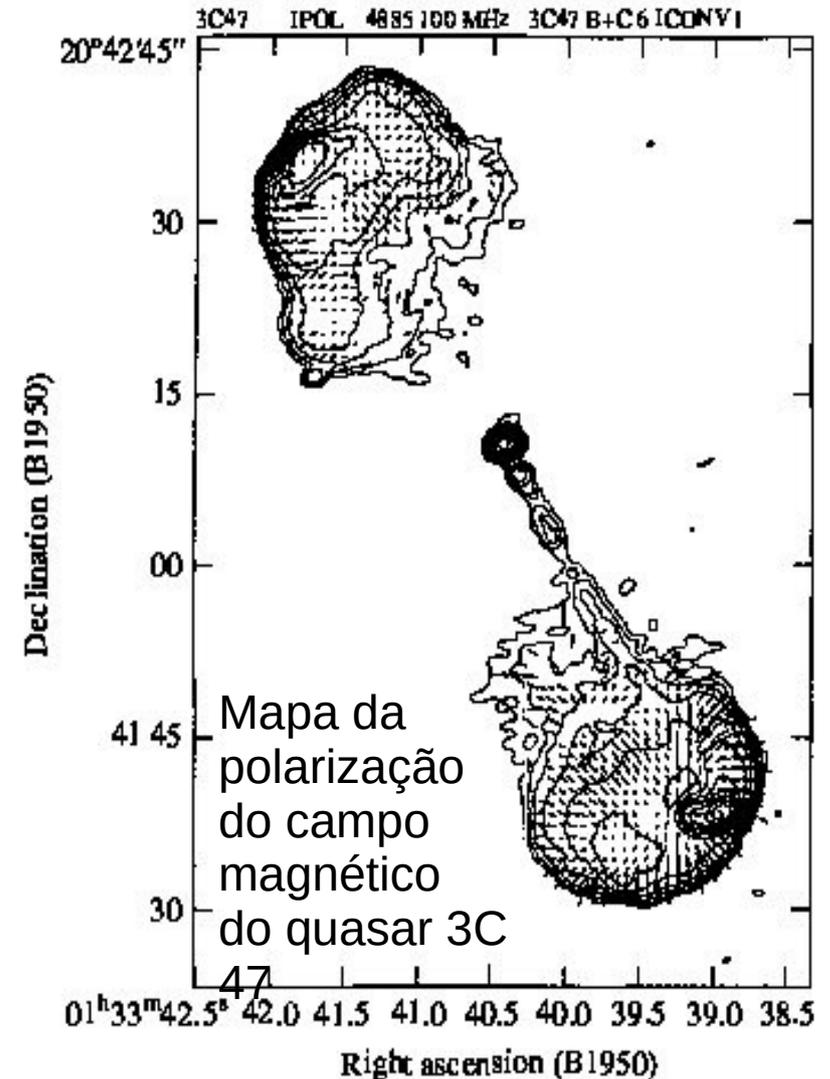
$$\Rightarrow R \sim (\frac{1}{2})c \cdot \Delta t / (1+z)$$

Galáxias Ativas e AGNs

Polarização da Emissão

Em geral, a **radiação** de **quasares**, vindo do **caroço** compacto, **não** é fortemente **polarizada**, da ordem de poucos %.

Porém, se a radiação vem dos **jatos** ou dos **lóbulos**, a polarização pode chegar até 60 %, por causa da **radiação síncrotron** altamente polarizada.



Galáxias Ativas e AGNs

Outros Objetos afins

Blazares ou objetos tipo BL Lac

Variações rápidas de até 30 % em poucas horas, ou de fatores até 100 em períodos mais longos.

Espectros contínuos com alto grau de **polarização linear**, **linhas espectrais** muito fracas.

Maioria em galáxias **elípticas**.

OVV (*Optically Violent Variable quasars*)

Similar a objetos BL Lac, mas mais **luminosas**, e talvez com **linhas largas** de emissão.

Galáxias Ativas e AGNs

Outros Objetos afins

ULIRGs (*UltraLuminous InfraRed Galaxies*)

Galáxias com espectros **similares** aos **quasares**,
mas **sem linhas largas**,
muito **brilhantes** no **infravermelho**.

LINERs (*Low Ionization Nuclear Emission-line Regions*)

luminosidades baixas nos **núcleos**,
linhas de elementos **baixamente ionizados**, i.e. [O I], [N II], ...
espectros similares a **Seyerts 2**,
mas também a **galaxias starburst** e **regiões H II**
=> Não é claro se realmente são AGNs.

Galáxias Ativas e AGNs

Resumo da classificação de AGNs

Class	Sub-class	Description
Seyferts	Type 1	broad and narrow emission lines, weak radio emission, X-ray emission, spiral galaxies, variable
	Type 2	narrow emission lines only, weak radio emission, weak X-ray emission, spiral galaxies, not variable
Quasars	Radio-loud (QSR)	broad and narrow emission lines, strong radio emission, some polarization, FR II, variable
	Radio-quiet (QSO)	broad and narrow emission lines, weak radio emission, weak polarization, variable
Radio Galaxies	BLRG	broad and narrow emission lines, strong radio emission, FR II, weak polarization, elliptical galaxies, variable
	NLRG	narrow emission lines only, strong radio emission, FR I and FR II, no polarization, elliptical galaxies, not variable
Blazars	BL Lacs	almost devoid of emission lines, strong radio emission, strong polarization, rapid variability, 90% in ellipticals
	OVV quasars	broad and narrow emission lines, strong radio emission, strong polarization, rapid variability, much more luminous than BL Lacs
ULIRGs		possibly dust-enshrouded quasars, alternatively may be starburst phenomena
LINERs		similar to low-luminosity Seyfert 2, low-ionization emission lines, in many (perhaps majority of) spiral galaxies, alternatively may be starburst phenomena or H II region emission

Galáxias Ativas e AGNs

Resumo da classificação de AGNs

Table 25-2 Properties of Active Galactic Nuclei (AGNs)

Object	Found in which type of galaxy	Strength of radio emission	Type of emission lines in spectrum	Luminosity	
				(watts)	(Milky Way Galaxy = 1)
Blazar	Elliptical	Strong	None	10^{38} to 10^{42}	10 to 10^5
Radio-loud quasar	Elliptical	Strong	Broad	10^{38} to 10^{42}	10 to 10^5
Radio galaxy	Elliptical	Strong	Narrow	10^{36} to 10^{38}	0.1 to 10
Radio-quiet quasar	Spiral or elliptical	Weak	Broad	10^{38} to 10^{42}	10 to 10^5
Seyfert 1	Spiral	Weak	Broad	10^{36} to 10^{38}	0.1 to 10
Seyfert 2	Spiral	Weak	Narrow	10^{36} to 10^{38}	0.1 to 10

Table 25-2

Universe, Eighth Edition

© 2008 W. H. Freeman and Company

O Modelo Unificado de AGNs

Apesar de todas as diferenças entre todos estes tipos de objetos, eles parecem ser de **natureza similar**:

Galáxias cuja **fonte** de **energia** é a **acrecção** de **material** num **Buraco Negro Supermaciço** no núcleo.

As **diferenças** vêm de **detalhes** como

- a **massa** do **Buraco Negro**,
- a **taxa** de **acrecção**,
- a presença ou ausência de **jatos** e/ou **lóbulos**,
aparentemente correlacionada com o **tipo** de **galáxia**:
 - elípticas: *radio-loud*, apresentado jatos e/ou lóbulos
 - espirais: *radio-quiet*, sem jatos e/ou lóbulos

Uma hipótese é que tem a ver com a velocidade de rotação do BN:

Em elípticas, o BN está girando rapidamente, por ser o resultado da fusão de BNs. Um BN em rotação rápida consegue produzir jatos.

- a **orientação** em relação à linha de visada.

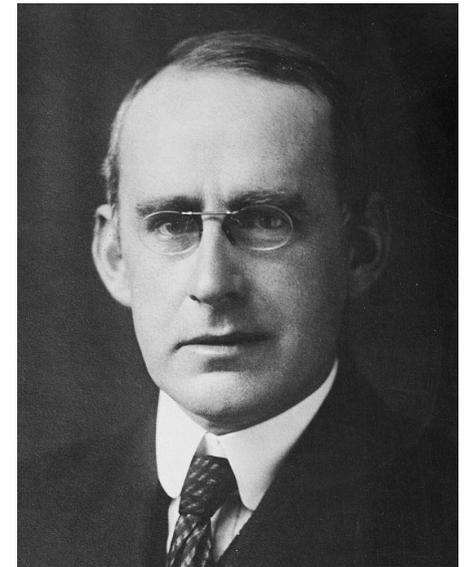
O Modelo Unificado de AGNs

Calculando Massa e Tamanho da Fonte Central

Para calcular massa e tamanho da fonte central é útil introduzir o **limite de Eddington**, ou luminosidade de Eddington, L_{Ed} .

É a **luminosidade máxima** que pode ser gerada por material sendo **acretado** com simetria esférica por uma **massa** M .

Se a massa irradia com luminosidade maior, a pressão desta radiação impede o material de cair em cima.



Arthur Stanley
Eddington
(1882-1944)

O Modelo Unificado de AGNs

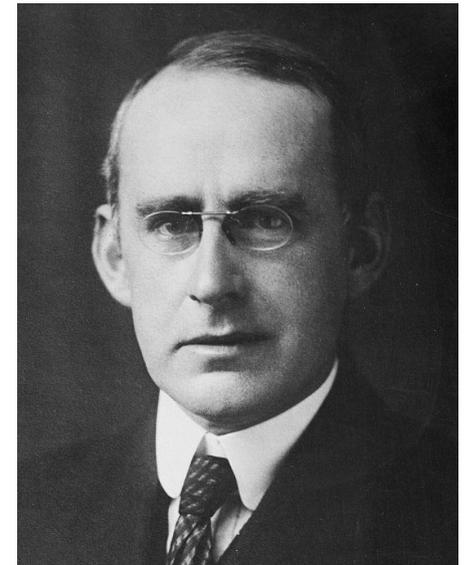
Calculando Massa e Tamanho da Fonte Central

Luminosidades super-Eddington podem acontecer em sistemas sem simetria esférica (a radiação sai em outra direção que de onde vem o material acretado).

Mesmo assim, L_{Ed} é uma boa estimativa da luminosidade máxima possível por acreção.

Além de na física de **quasares**, o limite de Eddington tem importância em

- **estrelas** em **formação**
- **binárias** com **transferência** de **massa** (i.e. novas, erupções de raios γ , ...)
- **pulsações** de **estrelas variáveis**,



Arthur Stanley
Eddington
(1882-1944)

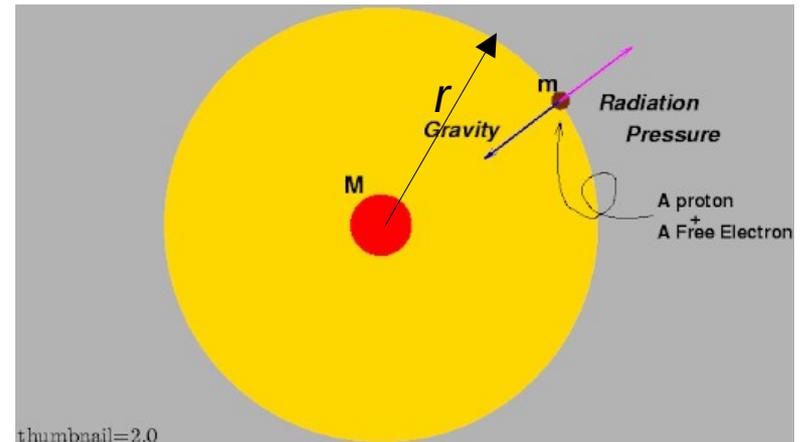
O Modelo Unificado de AGNs

Calculando Massa e Tamanho da Fonte Central

Considerando uma **partícula** com **massa** m e **seção transversal** de **Thomson** σ_T na distância r da massa M sendo acretado por esta, e equilibrando **gravitação** e **pressão** da **radiação** agindo na partícula:

$$\begin{aligned} GMm/r^2 &= dp_{\text{rad}}/dt = d(E_{\text{rad}}/c)/dt \\ &= 1/c \cdot F_{\text{rad}}\sigma_T = \sigma_T/c \cdot L_{\text{Ed}}/4\pi r^2 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow L_{\text{Ed}} = 4\pi GMmc/\sigma_T = 4\pi Gc/\bar{\kappa} \cdot M,$$



onde F_{rad} é o fluxo (potência por unidade de área) da radiação,
 $\bar{\kappa} = \sigma_T/m$ é a **opacidade** do **material acretado**,
no caso de hidrogênio: σ_T = seção transversal do elétron,
 $m = m_p$ = massa do próton

O Modelo Unificado de AGNs

Calculando Massa e Tamanho da Fonte Central

Tomando a **escala** de **tempo** de **variações** nos **raios X** e no **óptico**,
~ 1 hora, como típica para a **região central** de **emissão**, e $z = 0$,
obtemos $R \approx 7$ AU,
menor que a órbita de Saturno para um objeto irradiando $\sim 5 \cdot 10^{39}$ W!

Um **Buraco Negro** com **raio de Schwarzschild** de 7 AU teria
 $M = Rc^2/2G = 3.7 \cdot 10^8 M_{\odot}$

Pelo **limite de Eddington** conseguimos calcular a **massa mínima**
para um objeto **acretando** e **irradiando** $L = 5 \cdot 10^{39}$ W:

$$M \geq [L/1.5 \cdot 10^{31} \text{ W}] M_{\odot} = 3.3 \cdot 10^8 M_{\odot}$$

da mesma ordem.

=> A **fonte** de **energia** tem que ser **acrecção** num **Buraco Negro**!

O Modelo Unificado de AGNs

O Disco de Acreção

Esta acreção ocorre através de um **disco de acreção** (=> várias aulas desta disciplina), cuja **rotação** pode ser **detectada** pelo **efeito Doppler**.

Dá pra calcular que a **temperatura** do **disco** deve ser alguns **100 000 K**. Assim, a **radiação térmica** dele explica o **UV bump** nos espectros de quasares.

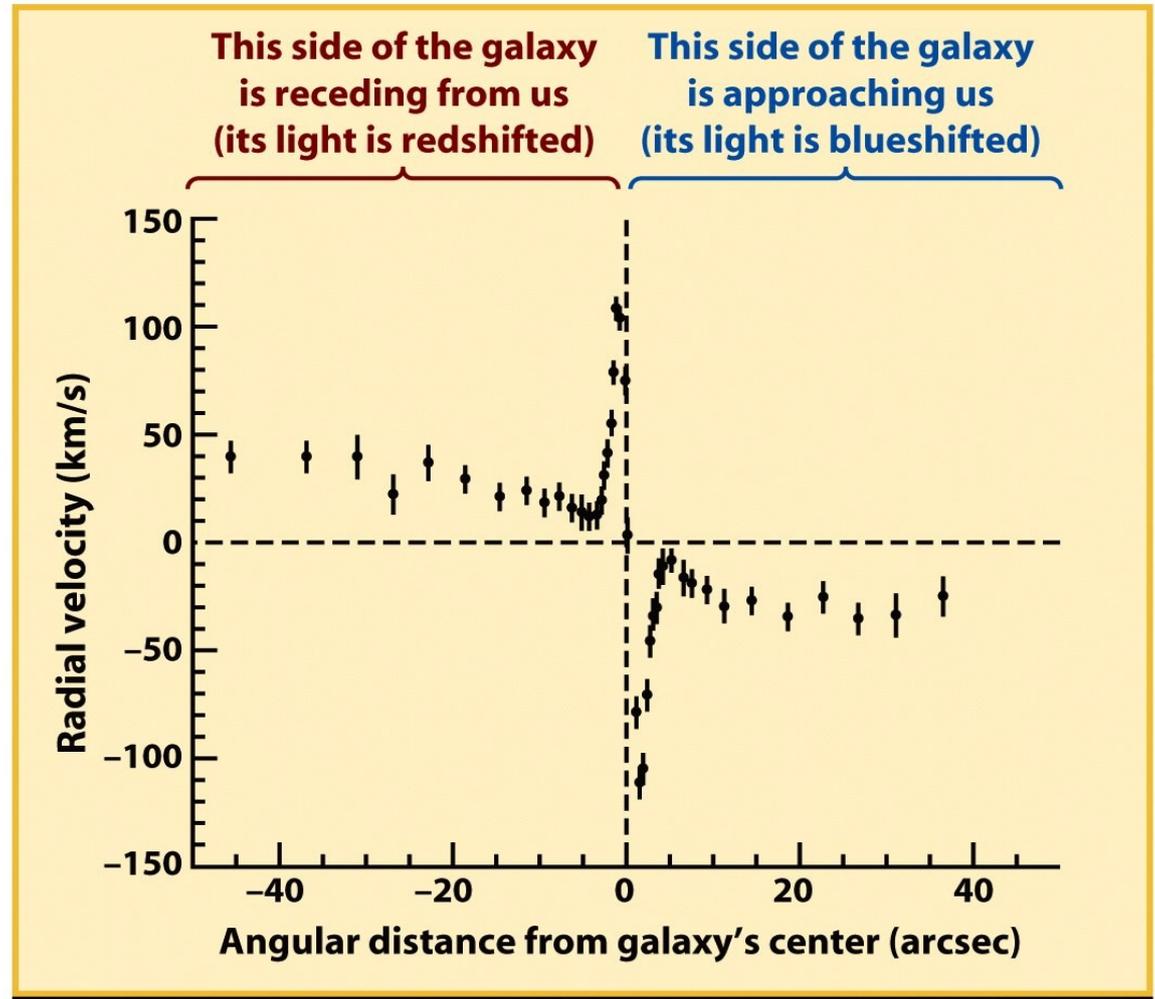


Figure 25-17
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

O Modelo Unificado de AGNs

A Estrutura do Disco de Acreção

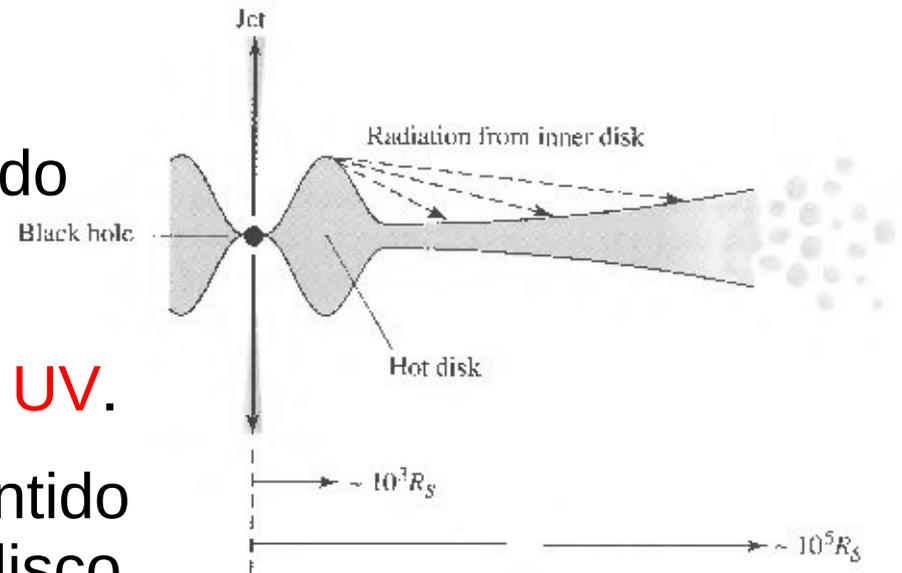
O Modelo prevê três regiões:

- Um **toro** de **íons** a ~ 1000 raios de Schwarzschild, onde a **radiação** vindo do **Buraco Negro** **contrabalança** a **pressão** do gás.

É desta parte que surge a **radiação UV**.

- de 10^3 a $10^5 R_S$, um **disco fino** mantido estável pela **pressão** do **gás**. Este disco pode receber radiação da fonte central ou do toro interno, causando um vento para fora.

- a partir de $10^5 R_S$, o disco fragmenta em **nuvens pequenas**.



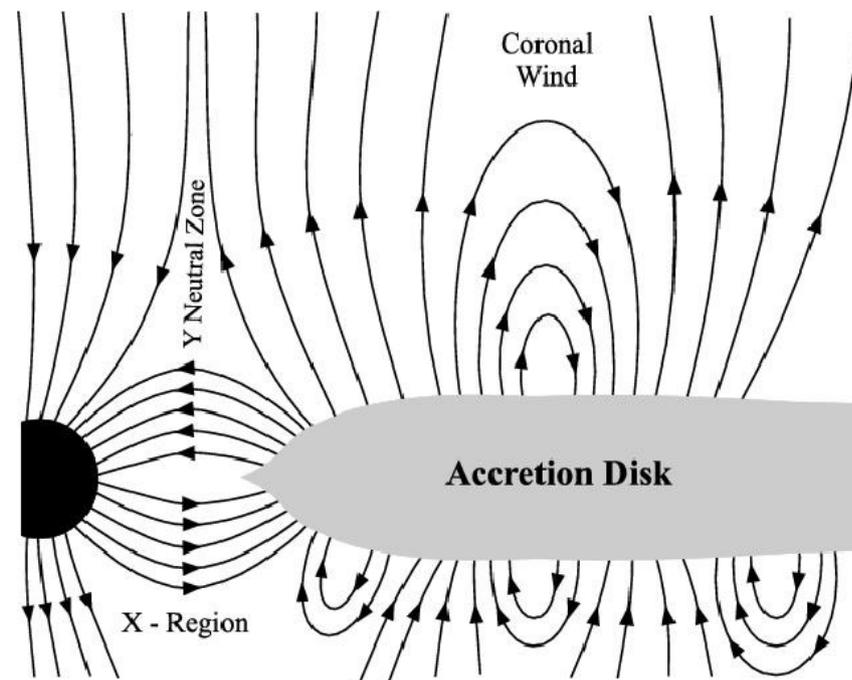
O Modelo Unificado de AGNs

O Campo Magnético

O **toro** de **íons** causa um **campo magnético** que **acelera partículas carregadas** para fora do disco, removendo **energia de acreção**.

Este campo pode **induzir** um campo entre os polos e o equator do Buraco Negro, que **freia** a sua **rotação** e carrega **energia rotacional** para fora por um processo chamado mecanismo de Blandford-Znajek.

Estes **campos magnéticos** conseguem produzir uma **corrente relativística** de **partículas carregadas** que seguem as linhas do campo e irradiam a **radiação síncrotron** detectada.

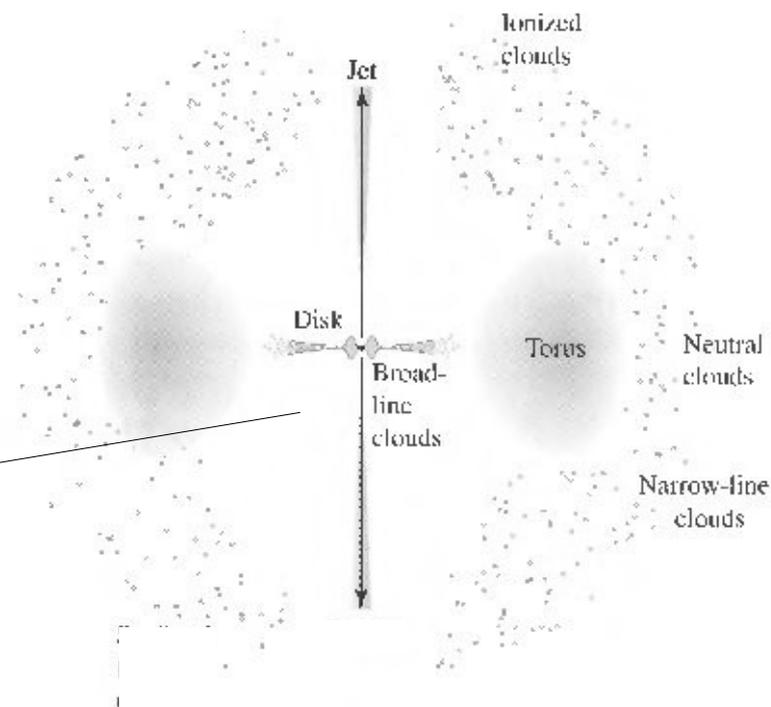


O Modelo Unificado de AGNs

A Região de Linhas Largas

As **escalas de tempo** das **variações** nas **linhas largas** de emissão, de **dias a meses**, sugerem, que a emissão destas linhas acontece por **nuvens** numa região **perto do centro**, até 10^{15} m deste.

A **proximidade** do **Buraco Negro** também explica as **altas velocidades** das **nuvens** de até 10 000 km/s que causam as **larguras** das **linhas de emissão**. Interpretando estas como velocidades **orbitais** das nuvens em torno do **Buraco Negro** podemos estimar a **massa** deste:
(usando $v = 5000$ km/s e $r = 10^{15}$ m) $M_{\text{bh}} = rv^2/G = 1.9 \cdot 10^8 M_{\odot}$, em concordância com a massa determinada antes.



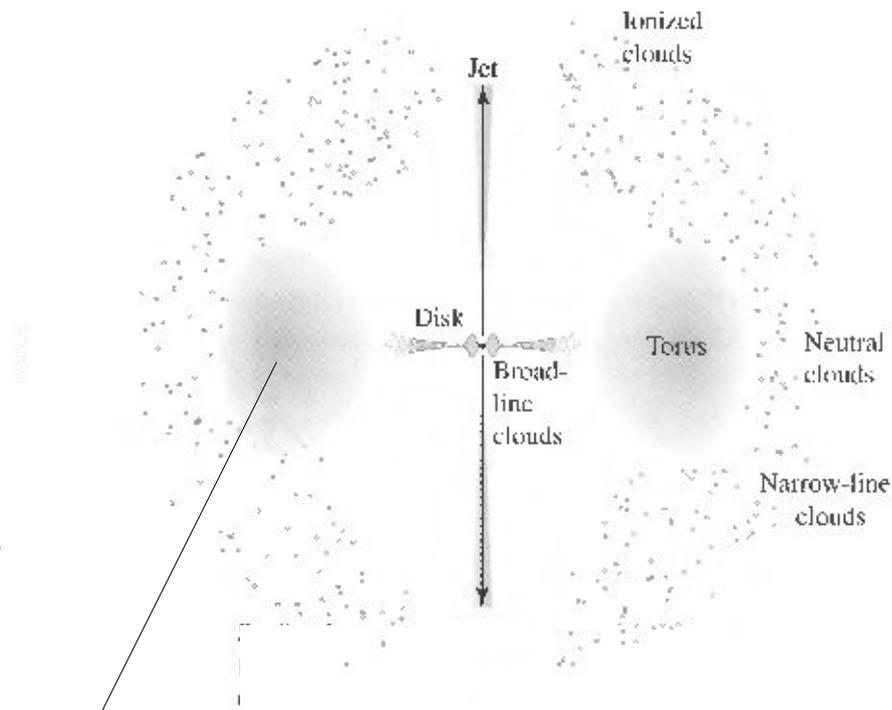
O Modelo Unificado de AGNs

A Região de Linhas Largas

Estas nuvens devem ser **heterogêneas, parcialmente ionizadas**.

Estudos detalhados das linhas de emissão indicam, que as **densidades de elétrons** são de 10^{15} m^{-3} a 10^{16} m^{-3} . e as **temperaturas** $\sim 10^4 \text{ K}$.

Envolvendo o disco de acreção e a região de linhas largas tem um **toro de gás e poeira opticamente espesso**.



O Modelo Unificado de AGNs

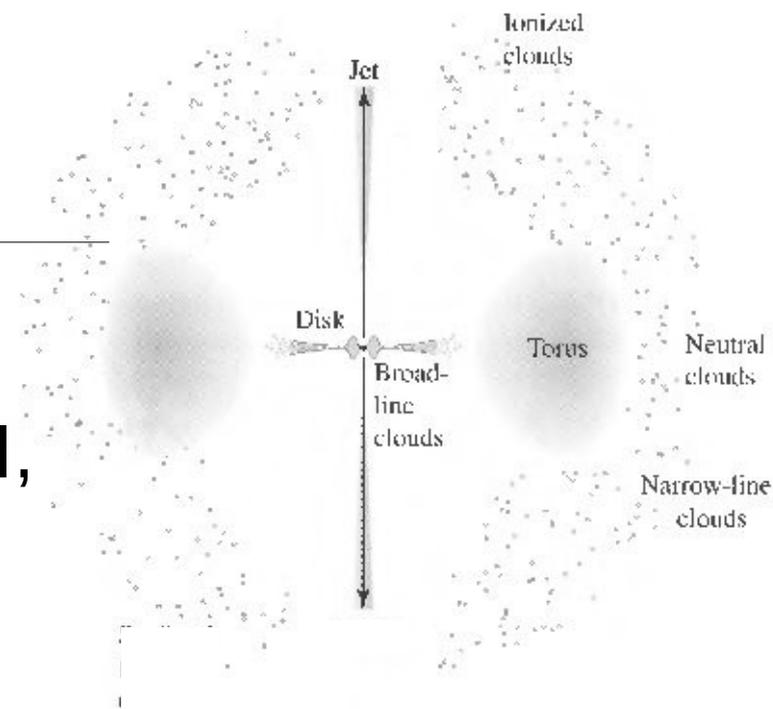
A Região de Linhas Estreitas

Mais longe do centro e, portanto, com **velocidades menores**, há a região das **linhas estreitas**.

Aqui as **densidades** são de 10^{10} m^{-3} , comparável a regiões H II, permitindo a formação de **linhas proibidas**.

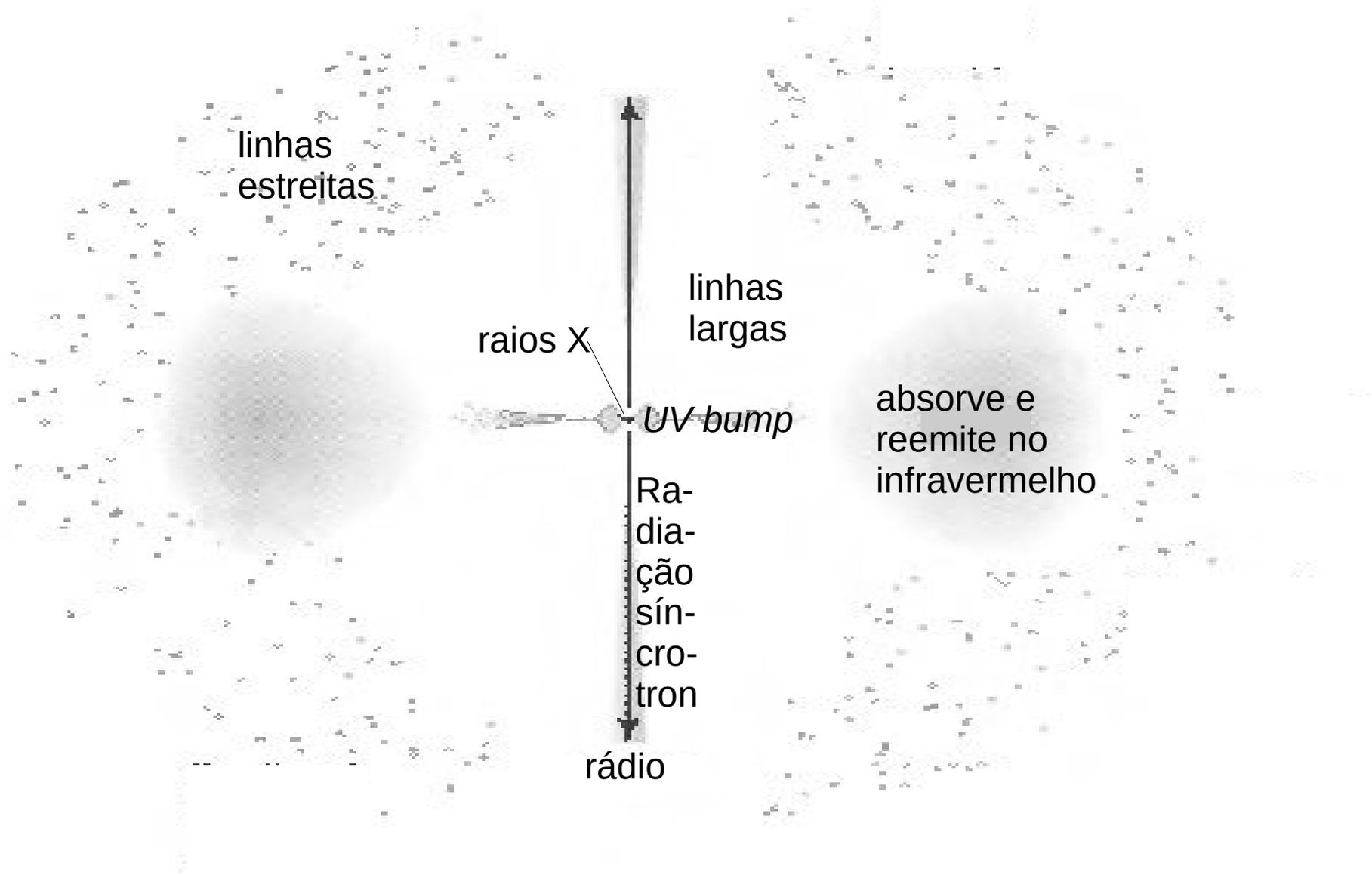
As **temperaturas** são $\sim 10^4 \text{ K}$.

As nuvens ocupam 2 % da região.



O Modelo Unificado de AGNs

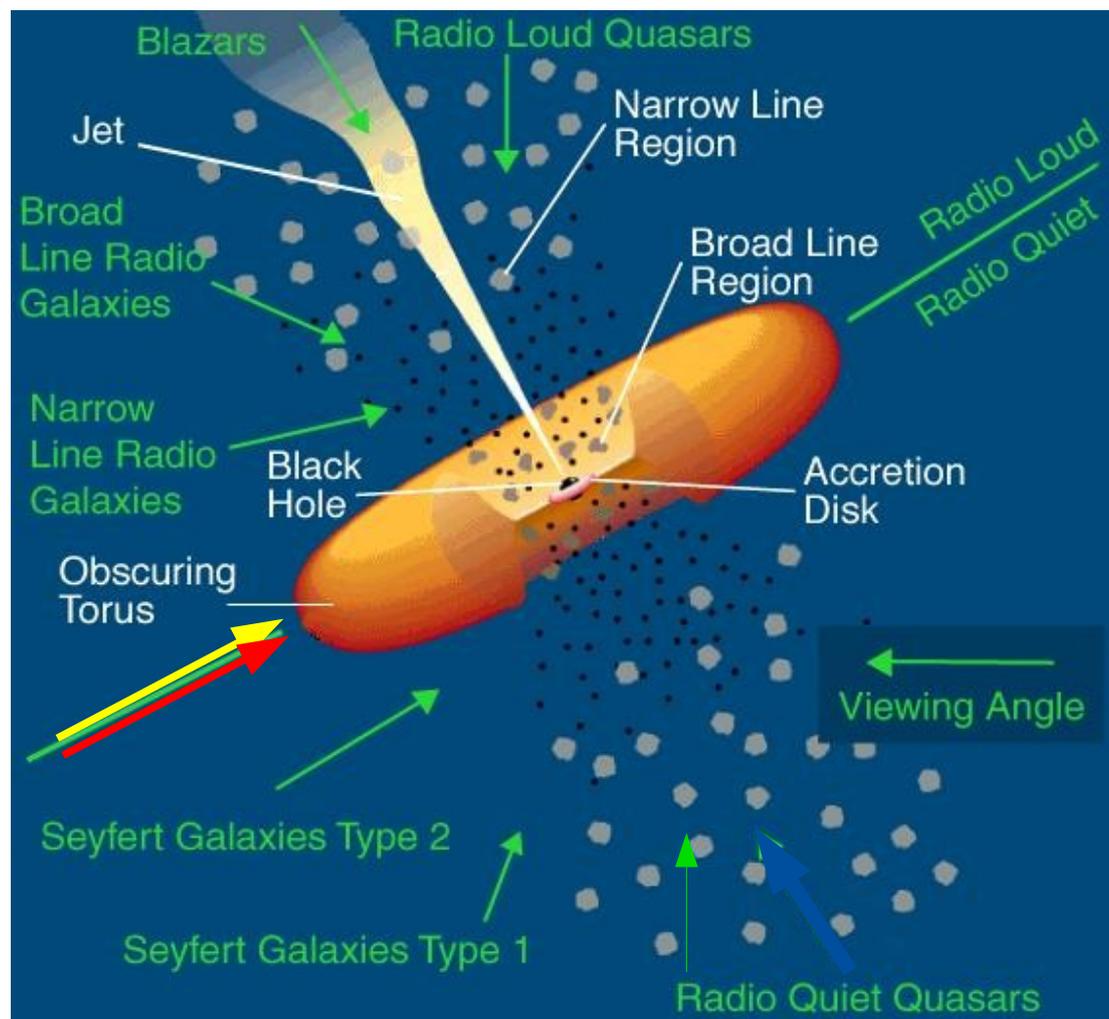
Resumindo de onde vem qual radiação



O Modelo Unificado de AGNs

Explicando os tipos diferentes de AGNs

Usando este **modelo** geral, e admitindo que há quasares que têm jatos e irradiam **fortemente no rádio** (em elípticas), e **outros** que **não** fazem isso (em espirais), podemos explicar os **diferentes tipos** de **AGNs**.



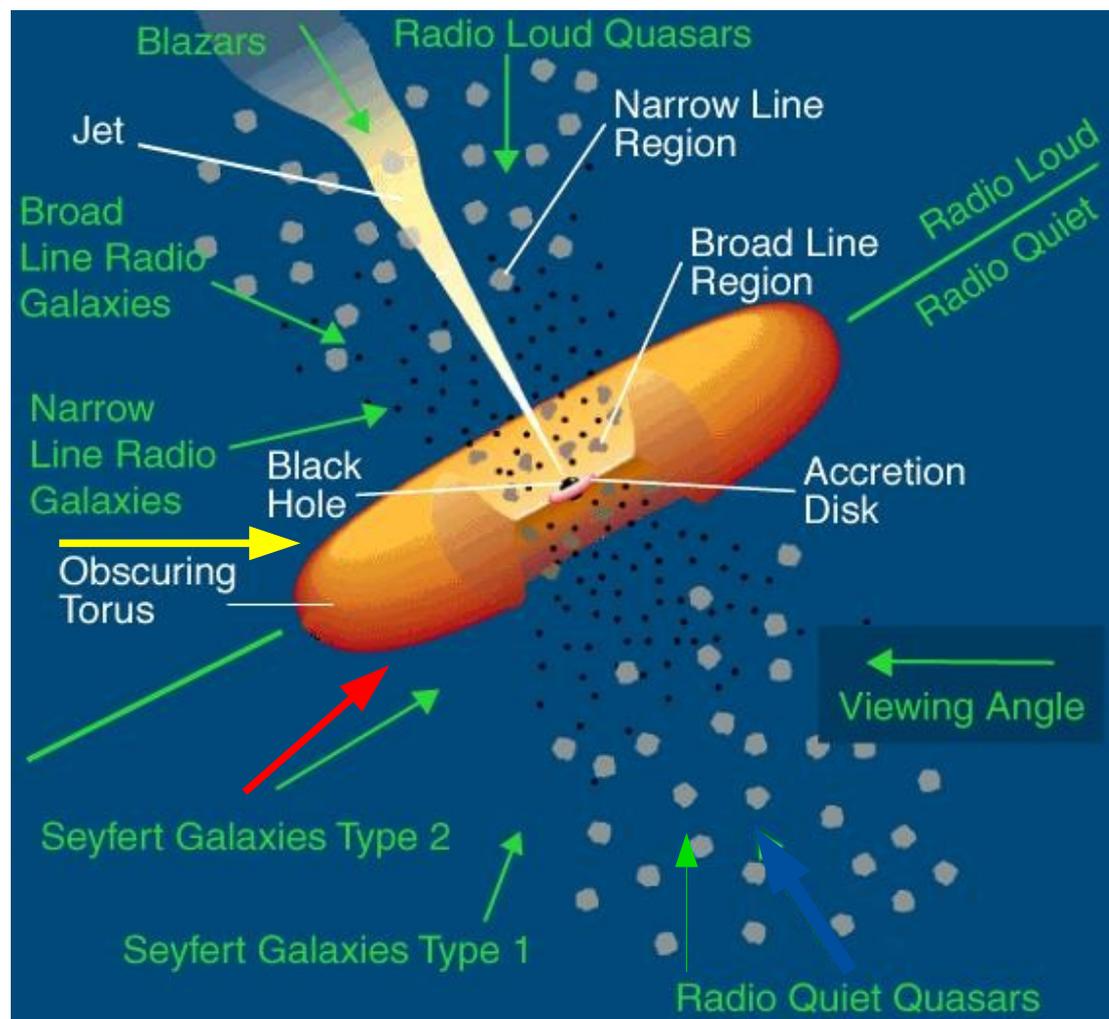
O Modelo Unificado de AGNs

Explicando os tipos diferentes de AGNs

- visto *edge-on*, o **toro** de **gás** e **poeira** obstrui a vista para o **centro**, para o **disco** de **acrecção** e para a **região** das **linhas largas**.

=> só vemos a região de **linhas estreitas**

=> **Seyferts 2**, radiogaláxias de linhas estreitas (NLRGs)



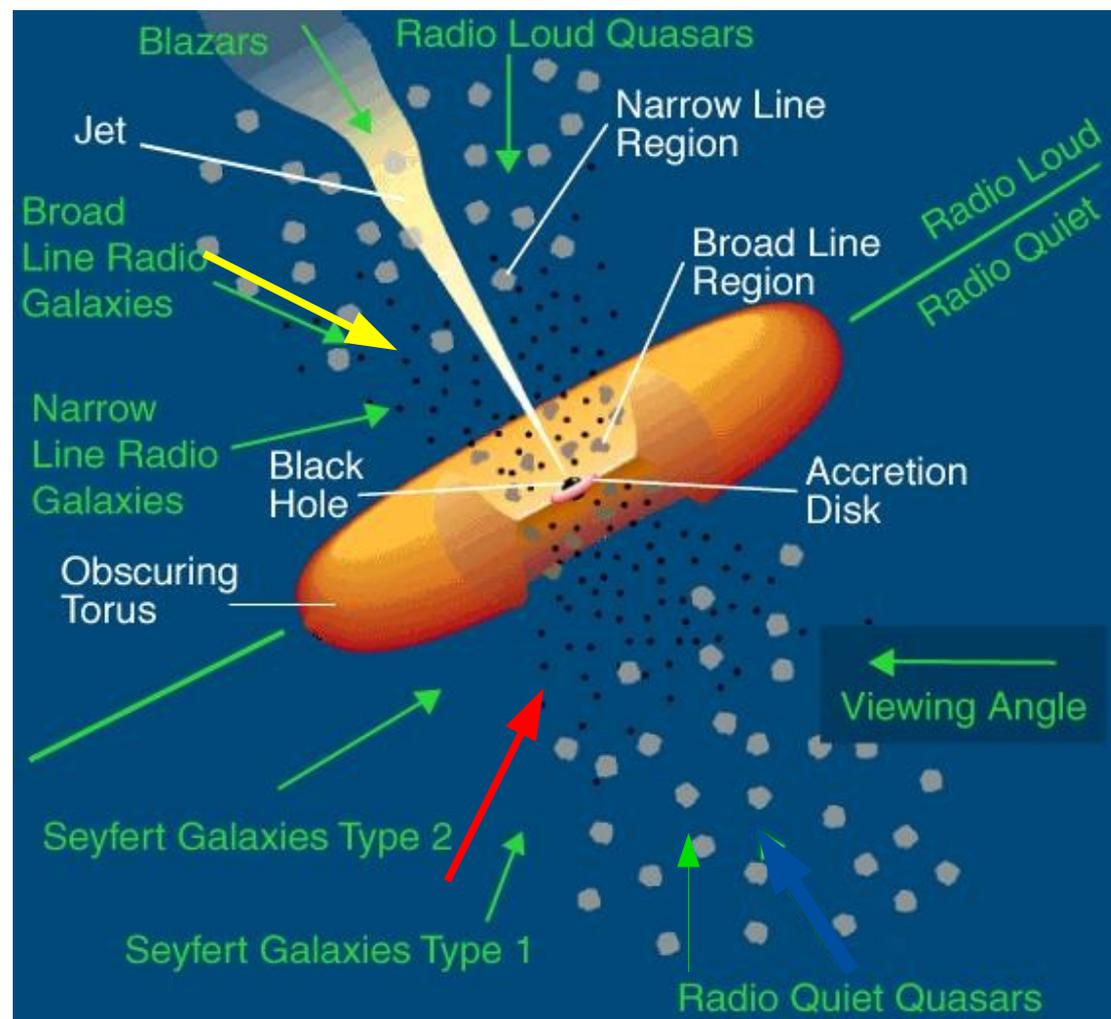
O Modelo Unificado de AGNs

Explicando os tipos diferentes de AGNs

- aumentando o ângulo com o disco, o toro não obstrui mais a vista para a região das linhas largas.

=> vemos linhas largas e estreitas

=> Seyferts 1, radiogaláxias de linhas largas (BLRGs)



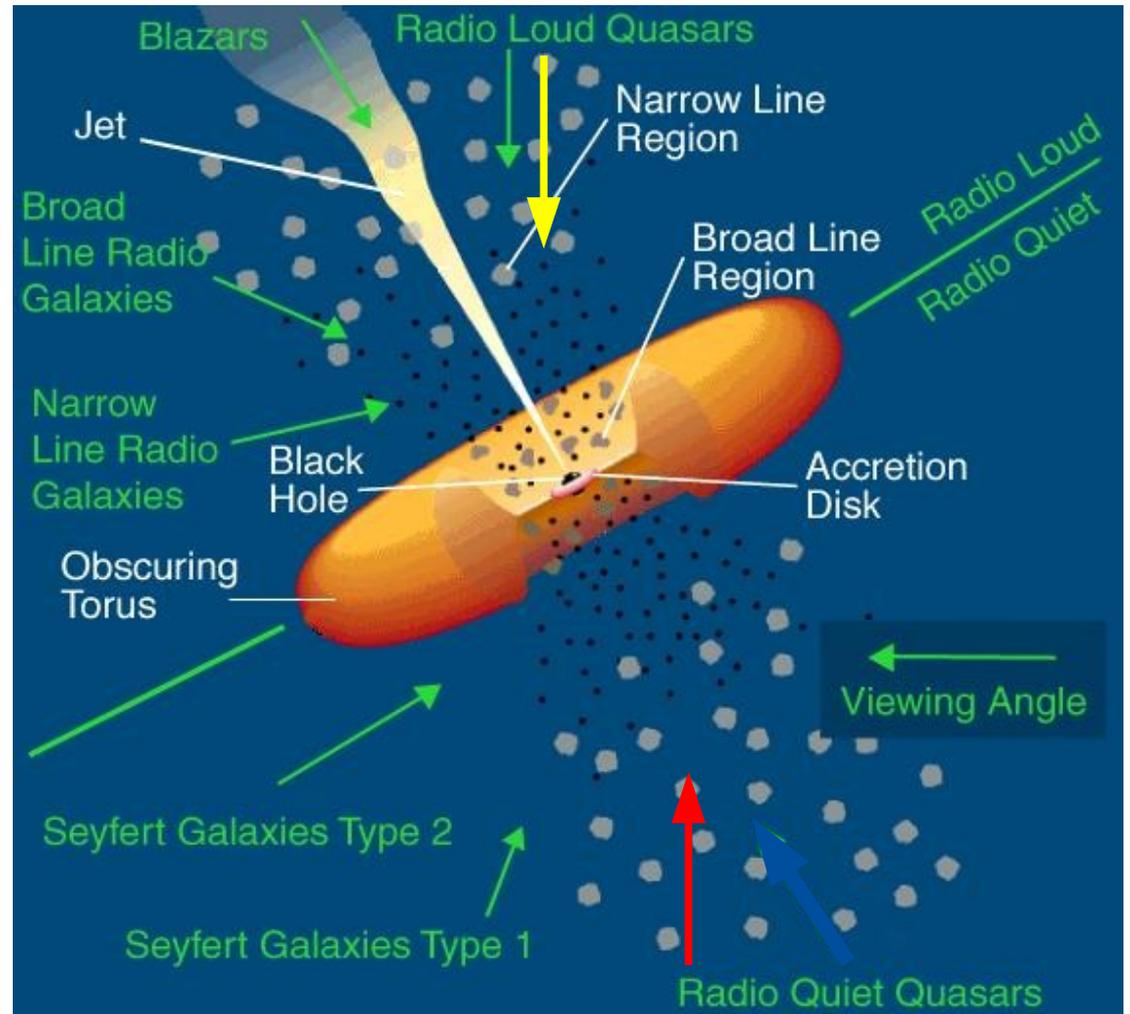
O Modelo Unificado de AGNs

Explicando os tipos diferentes de AGNs

- aumentando o ângulo mais ainda, o núcleo aparece e **excede** as outras partes em **brilho**

=> **QSOs radio-loud** e **radio-quiet** (QSRs / quasares).

Nos *radio-loud* começa a aparecer a **polarização** de jato.

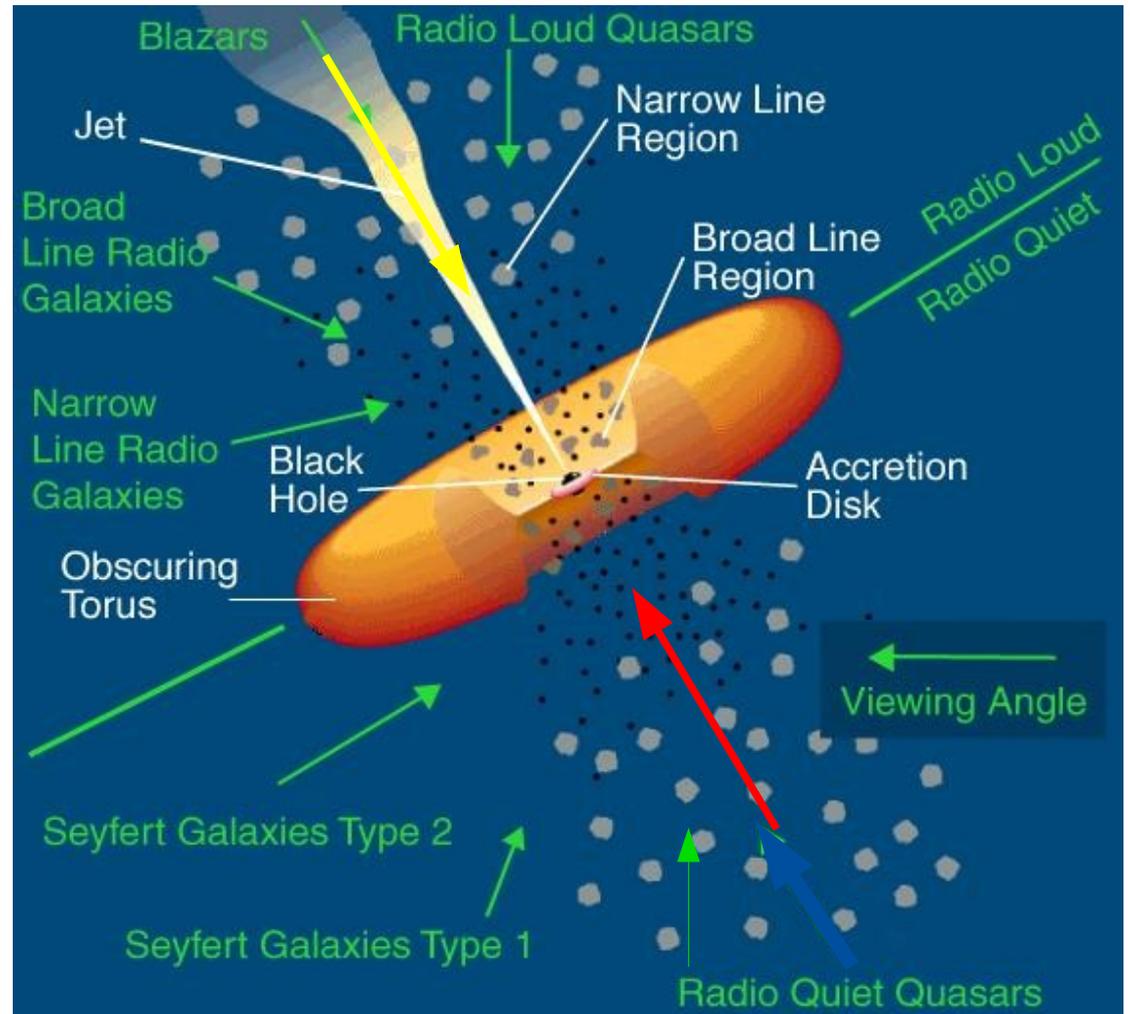


O Modelo Unificado de AGNs

Explicando os tipos diferentes de AGNs

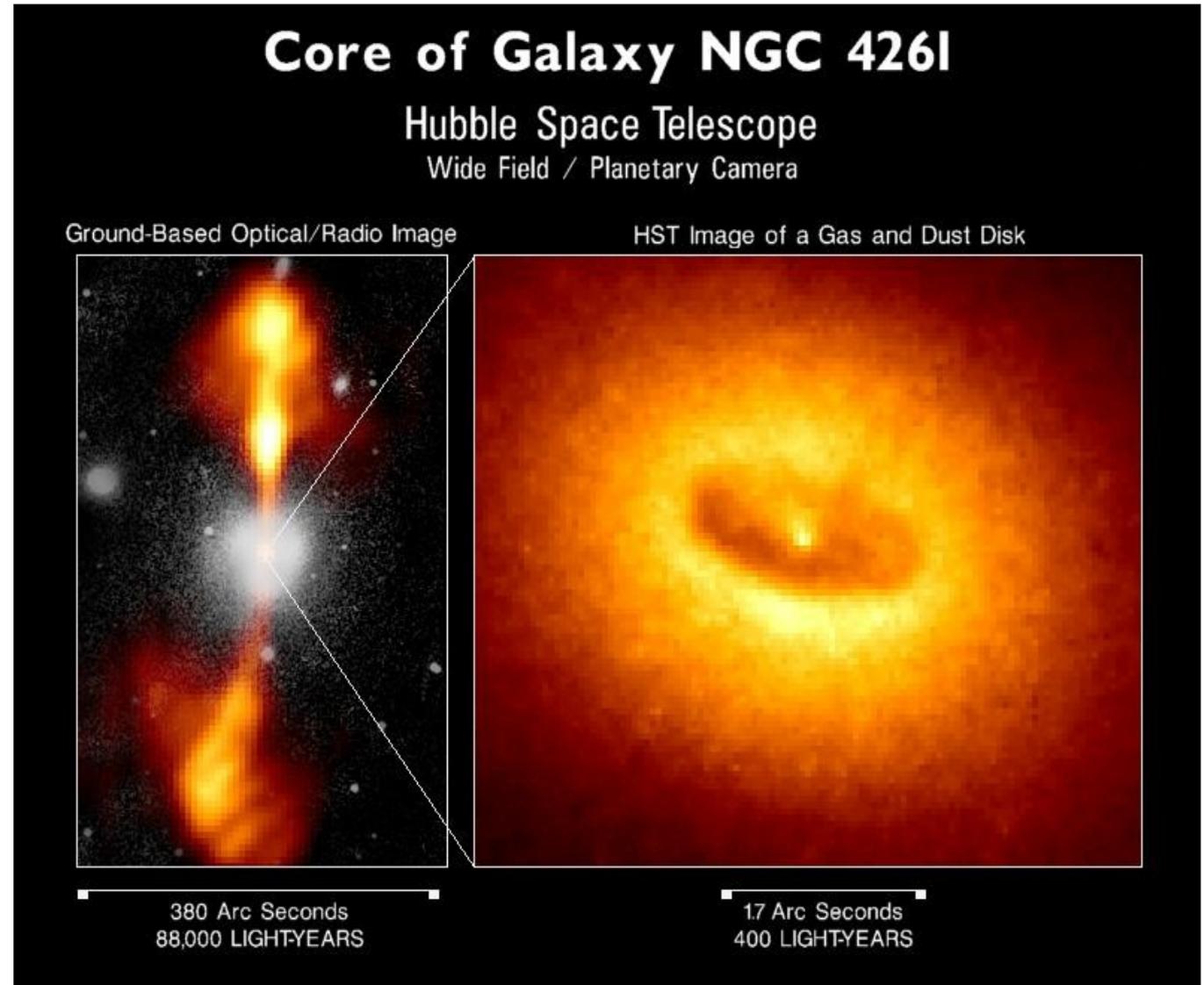
- olhando **contra** o **jato**,
este aparece muito
brilhante, e a
polarização é forte

=> **OVVs**, **Blazares**

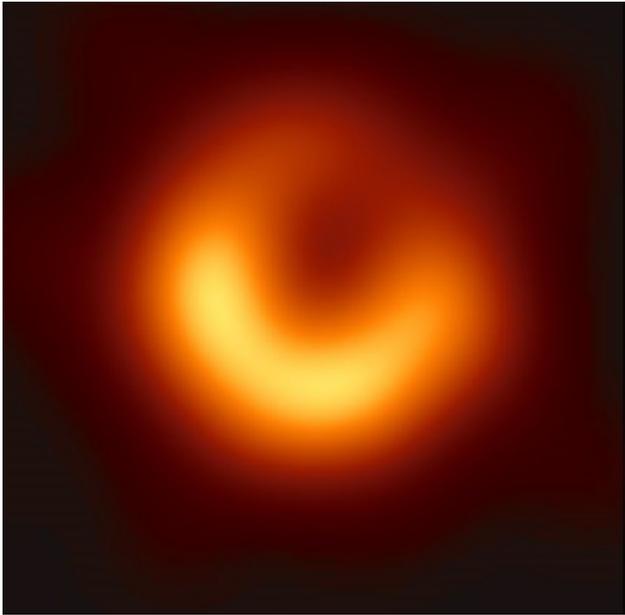


O Modelo Unificado de AGNs

Esta imagem do caroço da galáxia elíptica NGC 4261 no aglomerado de Virgo fornece uma bonita corroboração do modelo.



O Modelo Unificado de AGNs

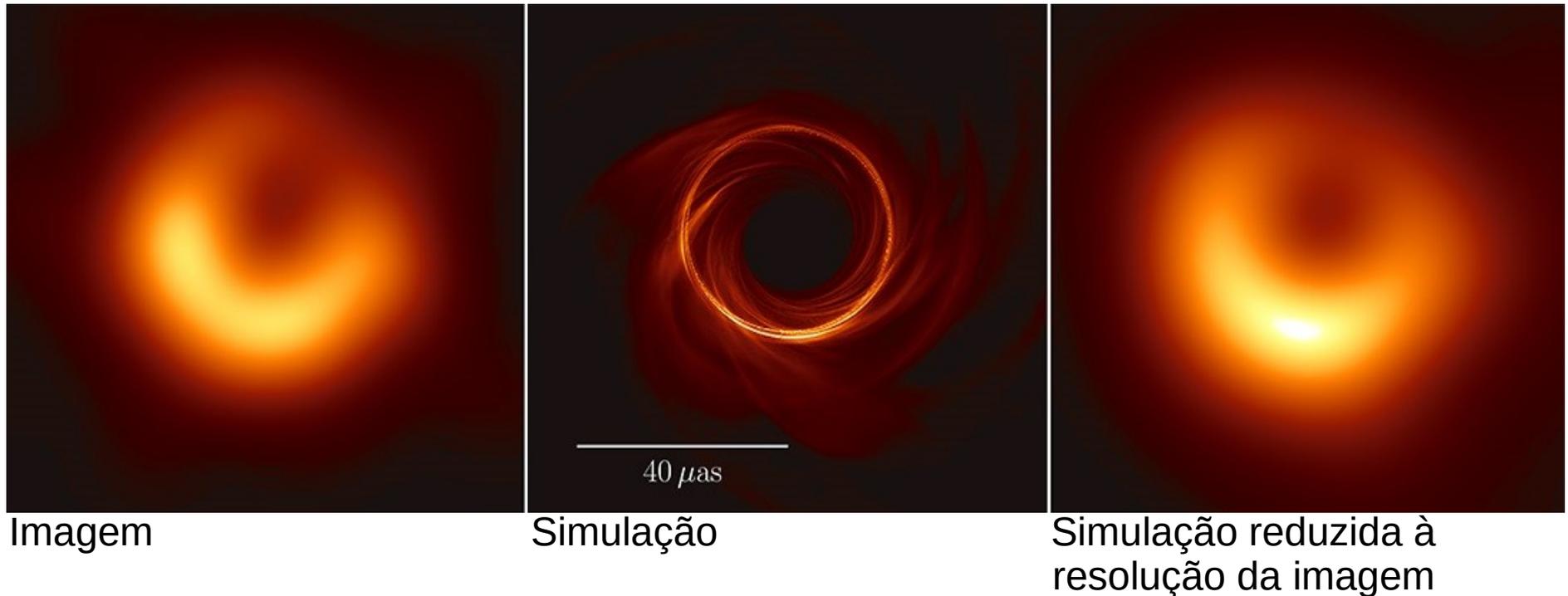


E em 04/2019 foi publicada a primeira “imagem direta” do Buraco Negro central de uma galáxia ativa, melhor: do disco de acreção e da falta de emissão no meio. É o BN central da galáxia central do aglomerado de Virgo, M87, que apareceu várias vezes nas últimas aulas.

A 16.4 Mpc da Terra, o Buraco Negro tem $\sim 6.5 \cdot 10^9 M_{\odot}$, um raio de Schwarzschild (\Rightarrow aula Relatividade) de ~ 0.0006 pc = 120 AU, e está acretando $\sim 0.1 M_{\odot}/\text{ano}$. A sua “sombra” vista na imagem é ~ 0.0015 pc.

A imagem foi tirada pelo *Event Horizon Telescope* (EHT), uma rede VLBI (\Rightarrow aula telescópios) abrangendo o mundo inteiro, com uma resolução de 25 μas .

O Modelo Unificado de AGNs



Simulações do disco de acreção reproduzem bem a imagem. A parte inferior do “anel” está indo na nossa direção e parece mais brilhante por colimação relativística.

Em 2018, o projeto EHT observou novamente o Buraco Negro em M87 durante uma semana, assim como aquele no centro da Via Láctea, com resolução ainda melhor, como visto nas aulas Relatividade e Via Láctea.

Rádio Jatos e Lóbulos

Geração e Propagação dos Jatos

Algum mecanismo deve **colimar** as **partículas carregadas relativísticas** que saem do **disco de acreção** para formar os **jatos** extremamente **finos** observados, e algo deve **manté-los** a **velocidades relativísticas** até chegarem nos **lóbulos**.

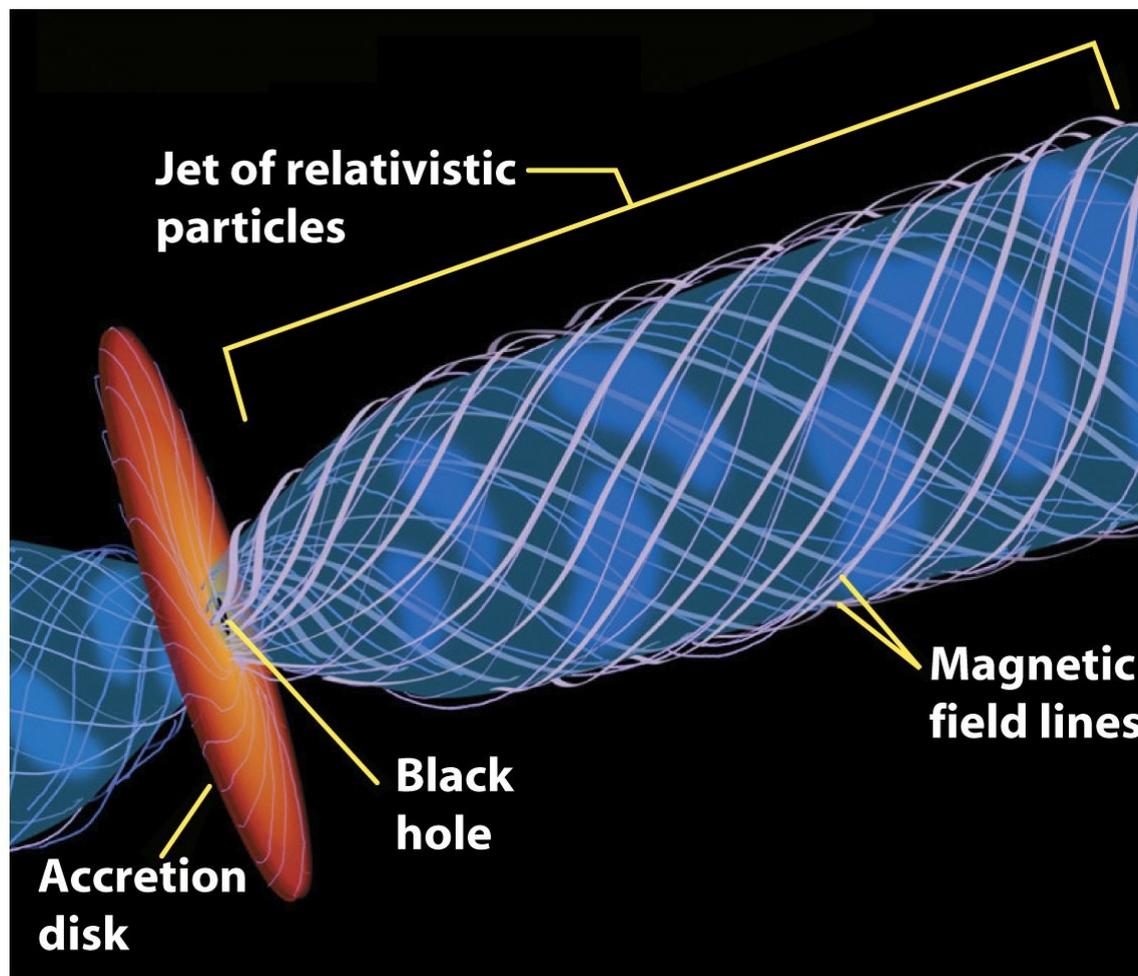


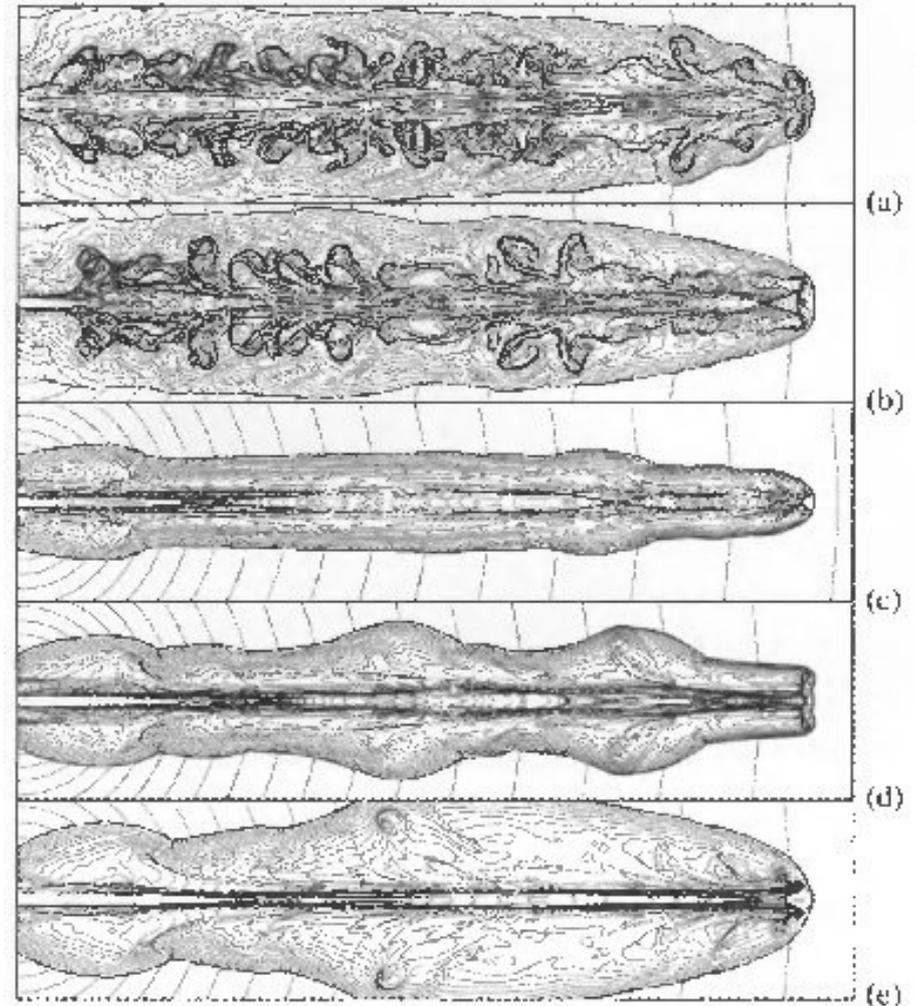
Figure 25-18
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Rádio Jatos e Lóbulos

Geração e Propagação dos Jatos

Simulações magneto-hidrodinâmicas tentam simular a propagação dos jatos pelo meio intergaláctico mas estes processos ainda não são bem entendidos.

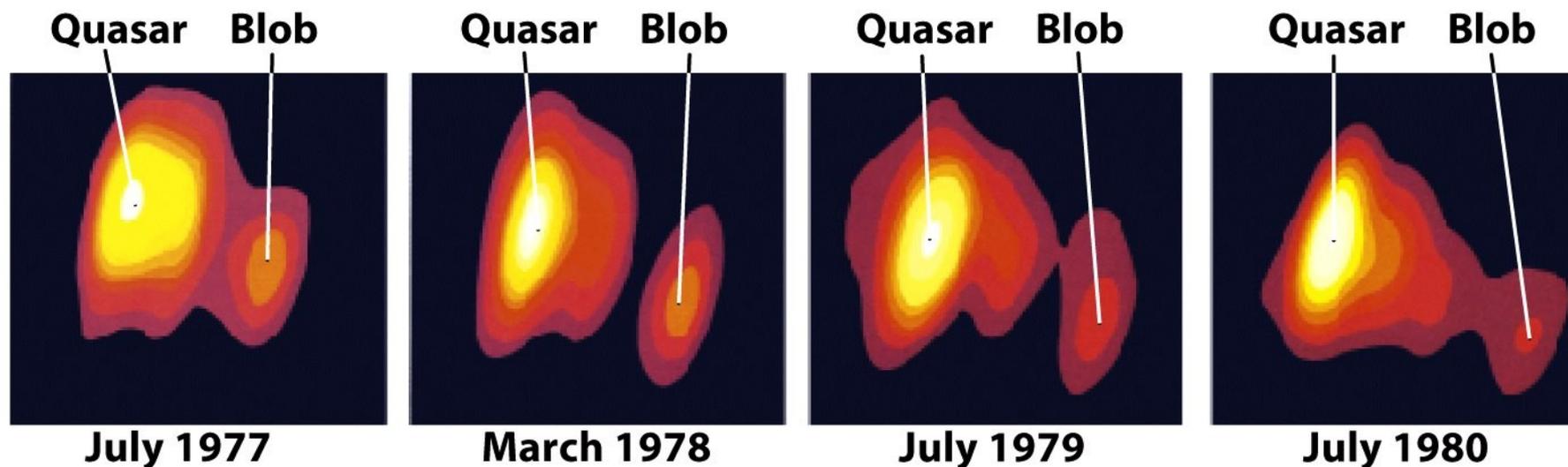
=> Trabalho pra frente.



Rádio Jatos e Lóbulos

Velocidades Superluminais

Dá pra detectar o **movimento próprio** dos **nós** de **emissão** em **rádio** dos **jatos**.



Rádio Jatos e Lóbulos

Velocidades “Superluminais”

Algo engraçado pode acontecer, se o **jato** viaja a um **ângulo pequeno** com a **linha de visada**:

A **velocidade** dos **nós projetada** no **plano** do **quasar** pode ser **maior** que a da **luz**.

Mas isto é só um **efeito** de **projeção**, como ilustra o exemplo ao lado.

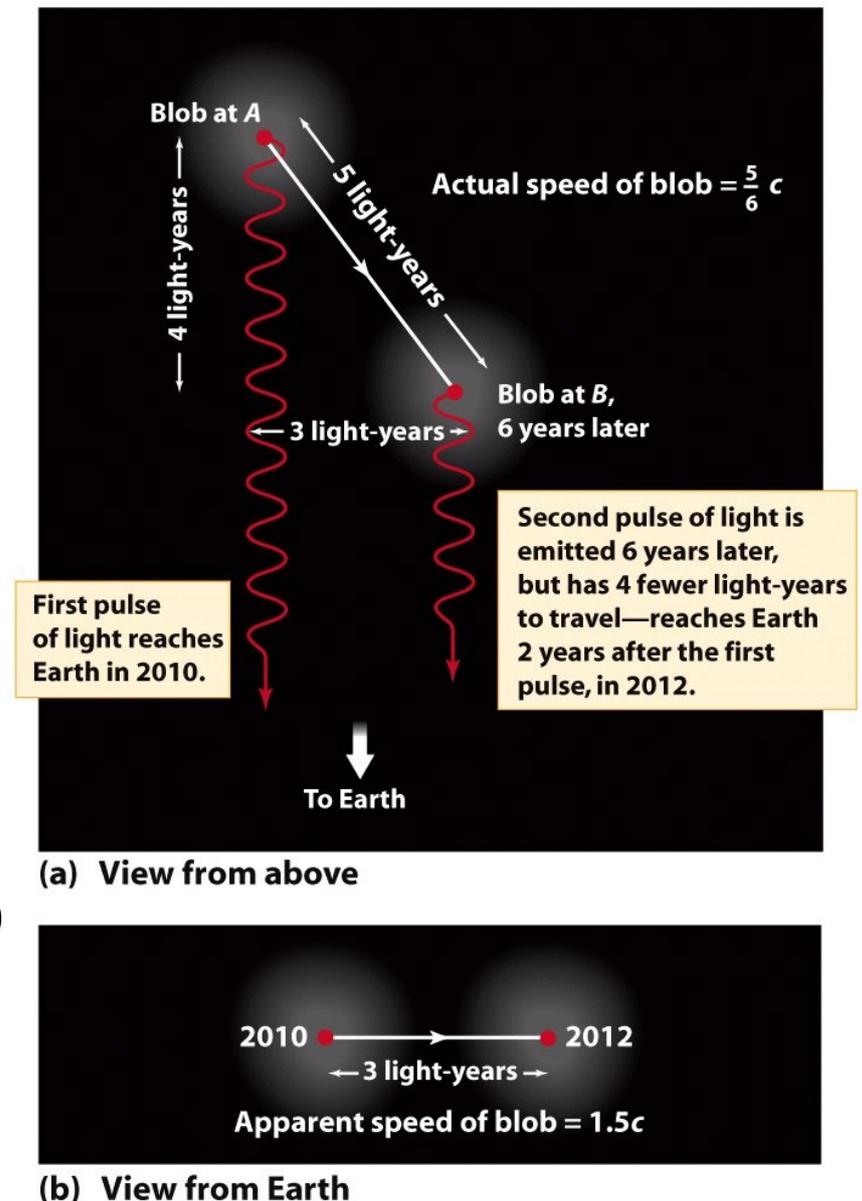


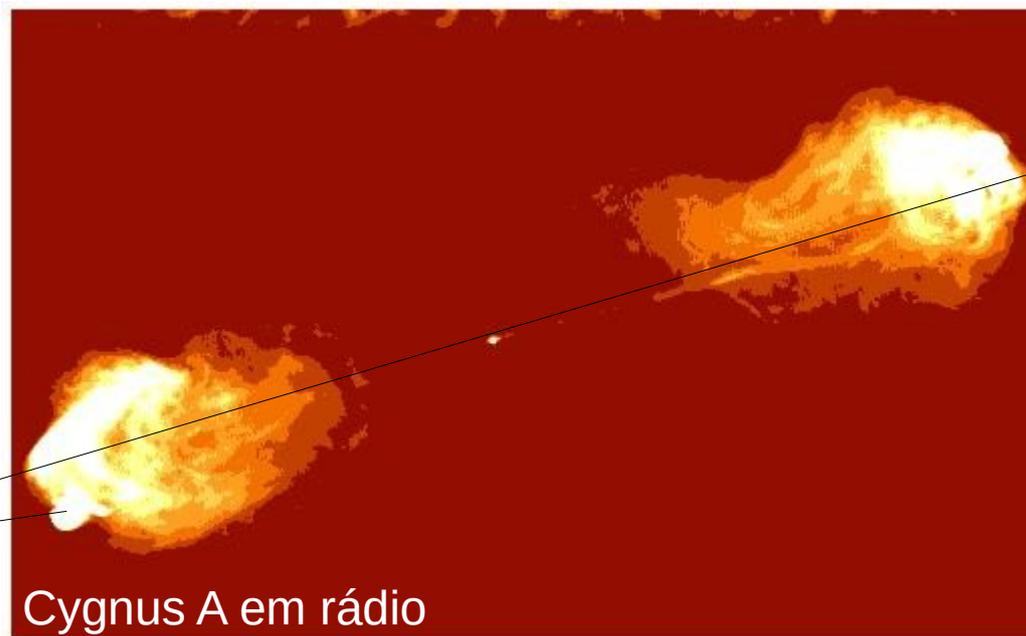
Figure 25-14
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Rádio Jatos e Lóbulos

Geração dos Lóbulos

Os **lóbulos** surgem, onde os **jatos** se **chocam** com o meio interestelar.

A **energia é dissipada** e “deixada pra trás”, tal que as **atuais frentes de choque dos jatos**, aparecendo como **hot spots**, “pontos quentes”, ficam na **frente** dos lóbulos.



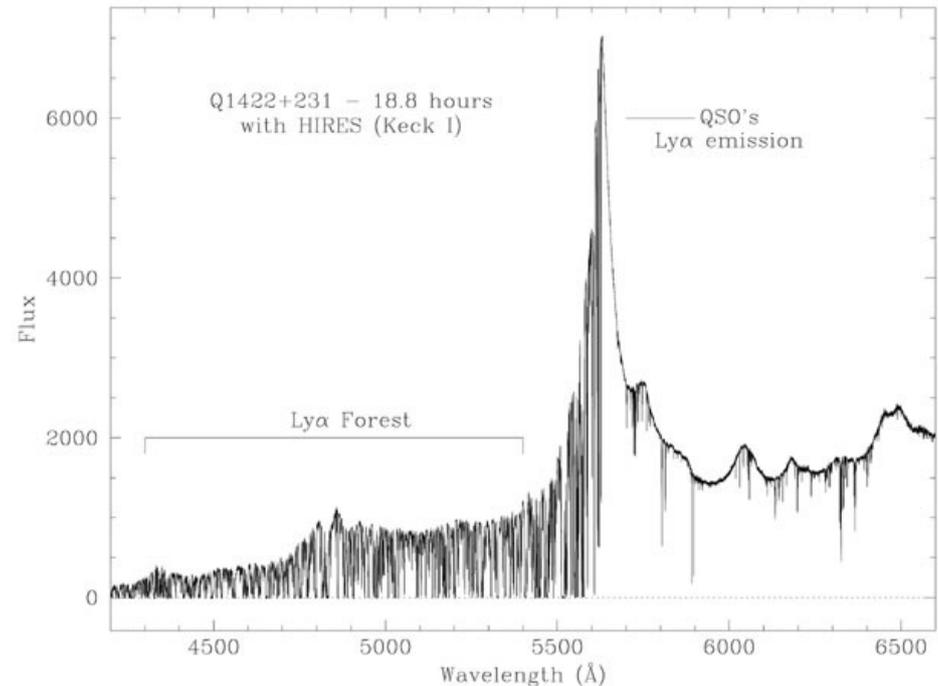
Usar AGNs para Sondar o Universo

A Floresta Lyman Alfa

Já que **quasares** são **visíveis** até **redshifts altos**, e têm uma grande faixa de **emissão contínua**, eles são ideais par **sondar** o **espaço intergaláctico**.

No espectro de quasares distantes aparecem **linhas** de **absorção** do **lado curto** da **linha** de **emissão** em **Lyman α** do **quasar**.

Chamam o conjunto destas linhas de **floresta Lyman α** .



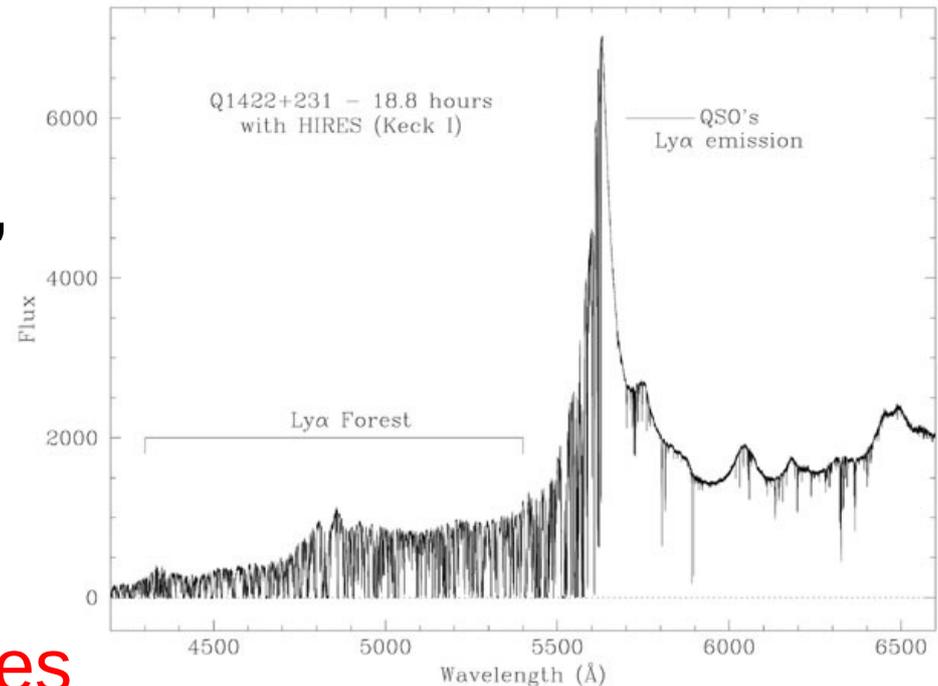
Usar AGNs para Sondar o Universo

A Floresta Lyman Alfa

Estas linhas correspondem à **absorção** em **Ly α** por **nuvens de gás intergaláctico**, de **composição primordial**.

Elas se encontram do lado **curto** da linha do quasar, por que estas nuvens de gás se encontram a **redshifts menores** que o **quasar**.

Usando a **Lei de Hubble-leMaître**, podemos determinar as **distâncias** até as nuvens de gás. Pelas **intensidades** das linhas podemos determinar as “**densidades óticas**”.



Usar AGNs para Sondar o Universo

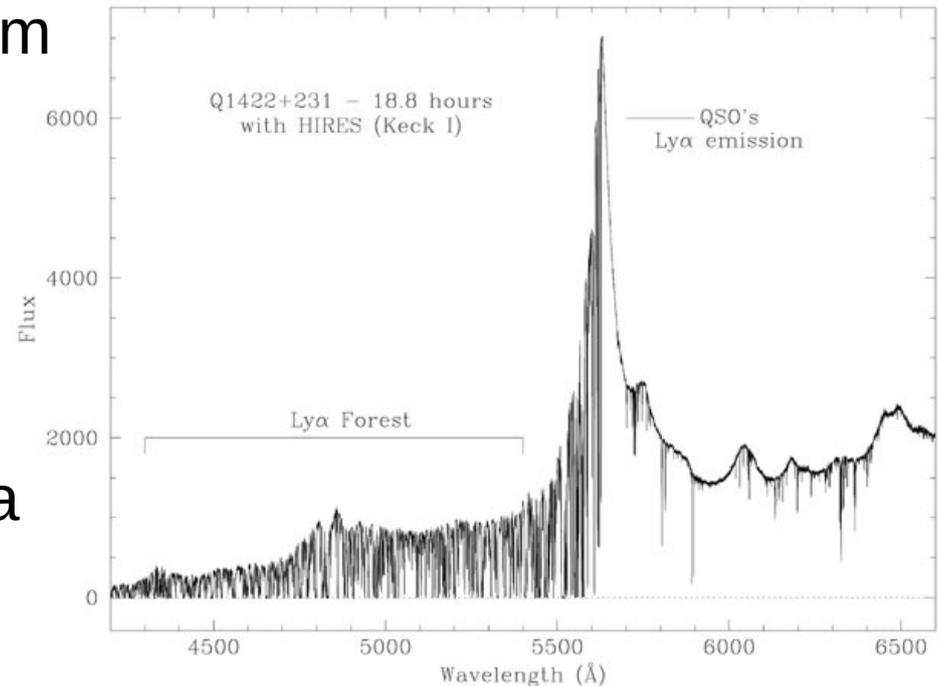
A Floresta Lyman Alfa

Encontra-se, que estas nuvens têm **massas** de 10^7 a $10^8 M_{\odot}$ e **tamanhos** da ordem daqueles de **galáxias**.

Com temperaturas de $\sim 30\,000$ K, elas se desfariam
(=> cálculo da massa de Jeans na aula sobre formação estelar).

=> É preciso de **pressão externa** ou **Matéria Escura** para mantê-las estáveis.

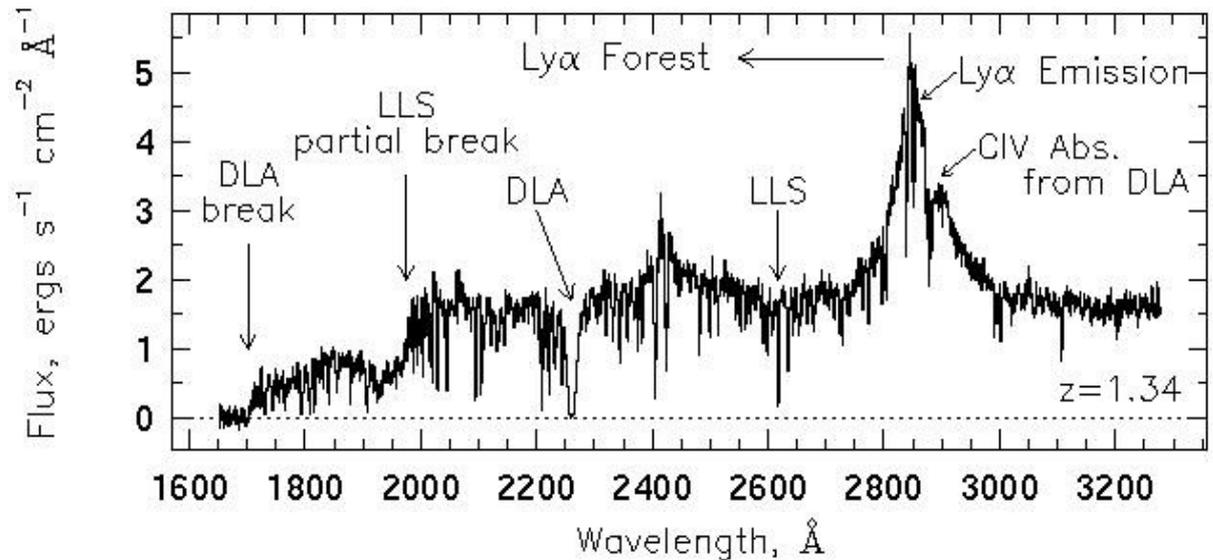
A **densidade** comovante das nuvens **diminuiu** desde alto *redshift*, e elas estão **distribuídas** mais ou menos **aleatoriamente** no espaço, sem evidência para aglomerados ou vazios de nuvens de gás.



Usar AGNs para Sondar o Universo

Absorção por metais ionizados

Também são encontrados **linhas redshiftados** de **elementos mais pesados e ionizados**, Mg II, Si II, C II, Fe II, Al II, C IV e outras, indicativas de **galáxias** no caminho.



Parcialmente, estas galáxias são **identificadas** em imagens.



Universidade Federal do ABC

Noções de Astronomia e Cosmologia

FIM PRA HOJE

