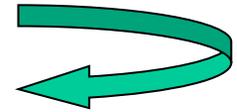


GALÁXIAS ATIVAS

- Galáxias Seyfert
- Rádio-Galáxias
- Quasares
- BL Lacs
- Fonte de energia das galáxias ativas

Galáxias Ativas e Quasares

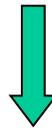
- Galáxias da classificação de Hubble \Rightarrow **NORMAIS**
emissão principal \Rightarrow visível



- Aquelas que não se enquadram \Rightarrow **PECULIARES**



alta luminosidade \Rightarrow **PECULIARES ATIVAS**



fontes muito intensas de emissão rádio,
infravermelho, e altas frequências.

Galáxias Ativas

- Galaxias bem + luminosas que as normais (em geral):

$$L = 100 - 1000 L(VL)$$

- Rápida variabilidade na luminosidade
- Alto contraste de brilho entre o núcleo e o resto da galaxia
- Linhas de emissão alargadas: indica rápidos movimentos internos na região de produção de energia
- Emissão de energia não-estelar: -> NÃO pode ser explicada pela combinação da emissão de trilhões de estrelas

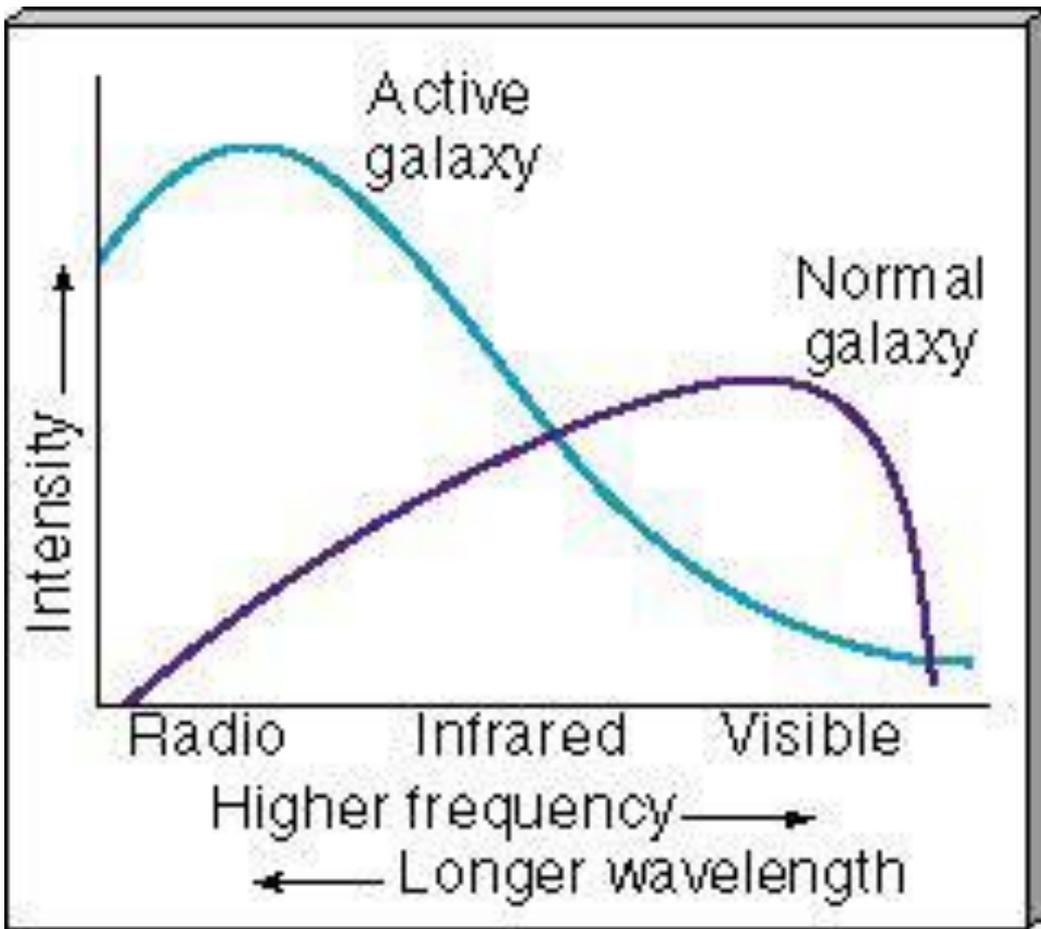


Gráfico ilustrativo das diferentes distribuições de energia emitida por uma galáxia normal e energia emitida por galáxia ativa.

Galaxias normais:

> Parte da radiação emitida próximo do visível e provem de estrelas = luz acumulada das estrelas = **espectro de radiação de Planck**

Galaxias ativas:

radiação dominante = **nao estelar ou nao-termica**

Distâncias

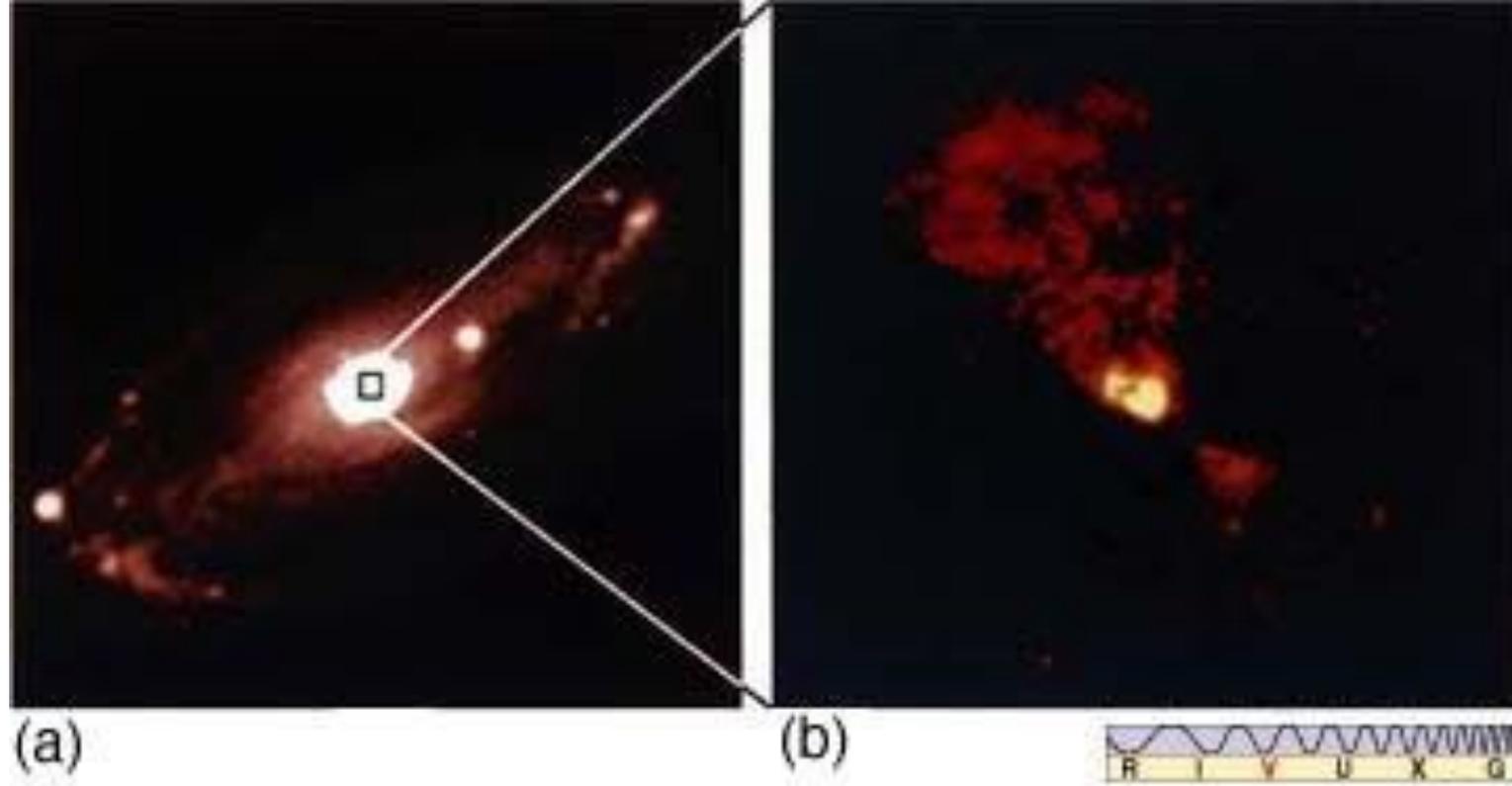
- Galáxias ativas: são encontradas em geral a grandes distâncias.
- As **mais ativas** são as **mais distantes**
- **Objetos mais remotos correspondem ao Universo de muito tempo atrás:** condições físicas eram mais violentas (radiação emitida) do que é hoje em dia

Tipos de Galáxias Ativas

- Galáxias de **Seyfert**: núcleo pequeno; linhas de emissão alargadas
- **Rádio-galáxias**: $L_{\text{rádio}} > 10^{40}$ erg/s
- Objetos **BL Lacertae**: rápida variabilidade rádio, infravermelho, visível, e frequências maiores
- Objetos “*quasi-stellar*” (**quasares**): $L \sim 10^3$ vezes maior que a de uma galáxia espiral normal.

Galáxias de Seyfert

- **Carl Seyfert estudando galáxias S:** descobriu sub-classe de S : com brilho bem maior: **galáxias Seyfert**
- **Propriedades intermediárias entre galáxias normais e as ativas** mais violentas conhecidas
- **Ligação evolutiva** entre os dois extremos
- **Altos *redshifts*** indicam distâncias de **$\sim 10^8$ pc**
- **No visível:** aspecto de **galáxia espiral normal** \Rightarrow observada em detalhe \Rightarrow quase toda energia vem de uma pequena região central \Rightarrow **10^3 vezes mais brilhante que o núcleo de nossa Galáxia.**



NGC5728 – galáxia Seyfert: encontra-se a 40Mpc.

(a) Imagem obtida com telescópio terrestre;

(b) imagem de maior resolução tomada com telescópio em órbita, mostrando feixes de matéria em forma de cone: radiação produzida possivelmente por um disco de acreção ao redor de buraco negro.

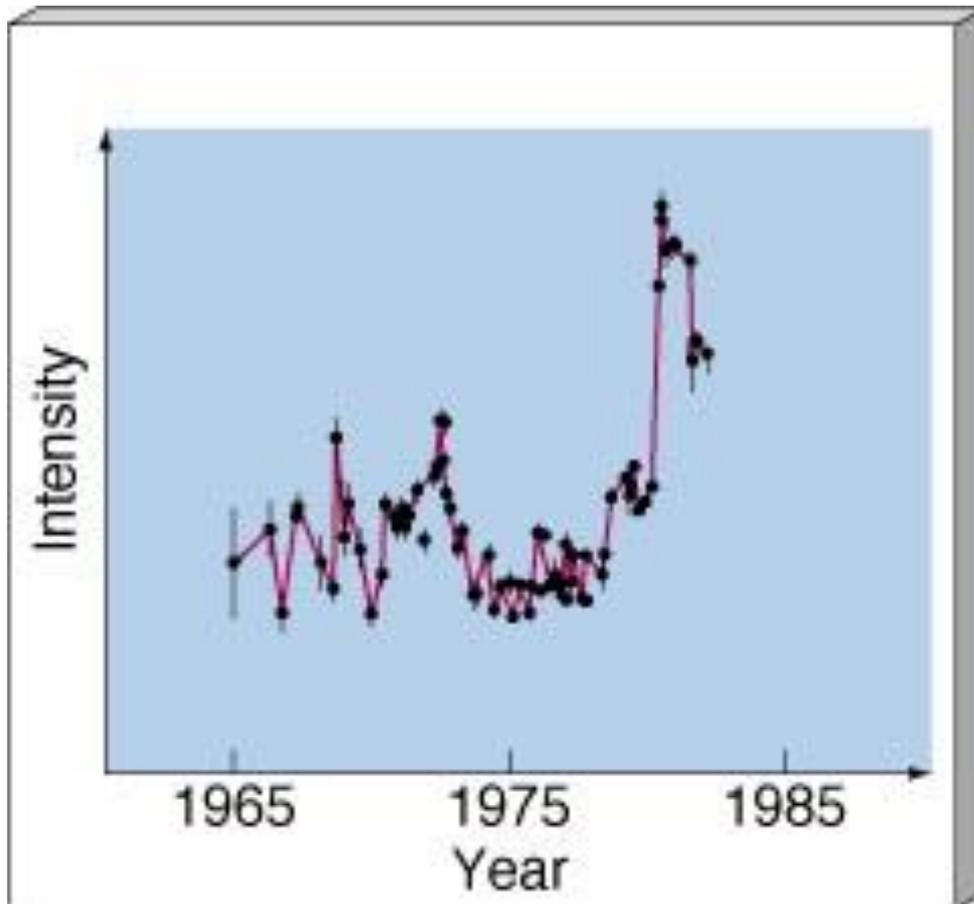
Galaxias Seyfert

- Emissão de radiação: **principalmente da região nuclear:**
 $L(\text{nuclear}) = 10.000 L(\text{núcleo VL})$
- **Discos e braços espirais:** radiação similar de estrelas de galáxias S normais
- Maior parte da energia do núcleo brilhante: rádio e IV de origem não estelar
- **Linhas espectrais (núcleo):** diferentes das produzidas por estrelas normais
- **Linhas de emissão fortes de elementos altamente ionizados** indicam:
 - ou **gases muito quentes** ($T > 10^8 \text{ K}$)
 - ou **gas rodando muito rápido (1000 km/s):** em volta de objeto central (alargamento das linhas indica movimentos rápidos na região nuclear)

Galaxias Seyfert

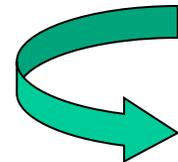
- Jatos de materia supersonicos (emissao radio estendida)
- Monitoramento das galáxias Seyfert mostra que a emissão de energia varia frequentemente com o tempo
- A luminosidade pode dobrar ou diminuir à metade dentro de apenas 1 ano
- **Variações rápidas** \Rightarrow fonte de energia compacta
($t_{\text{variação}} \sim 1 \text{ ano}$
 $\text{diâmetro} \leq c t_{\text{variação}} = 1 \text{ a.l.}$) (ver adiante)

Variabilidade irregular de uma galáxia Seyfert:
medida com grande rádio-telescópio (variações no óptico e em raios-X são semelhantes).



Rádio-galáxias

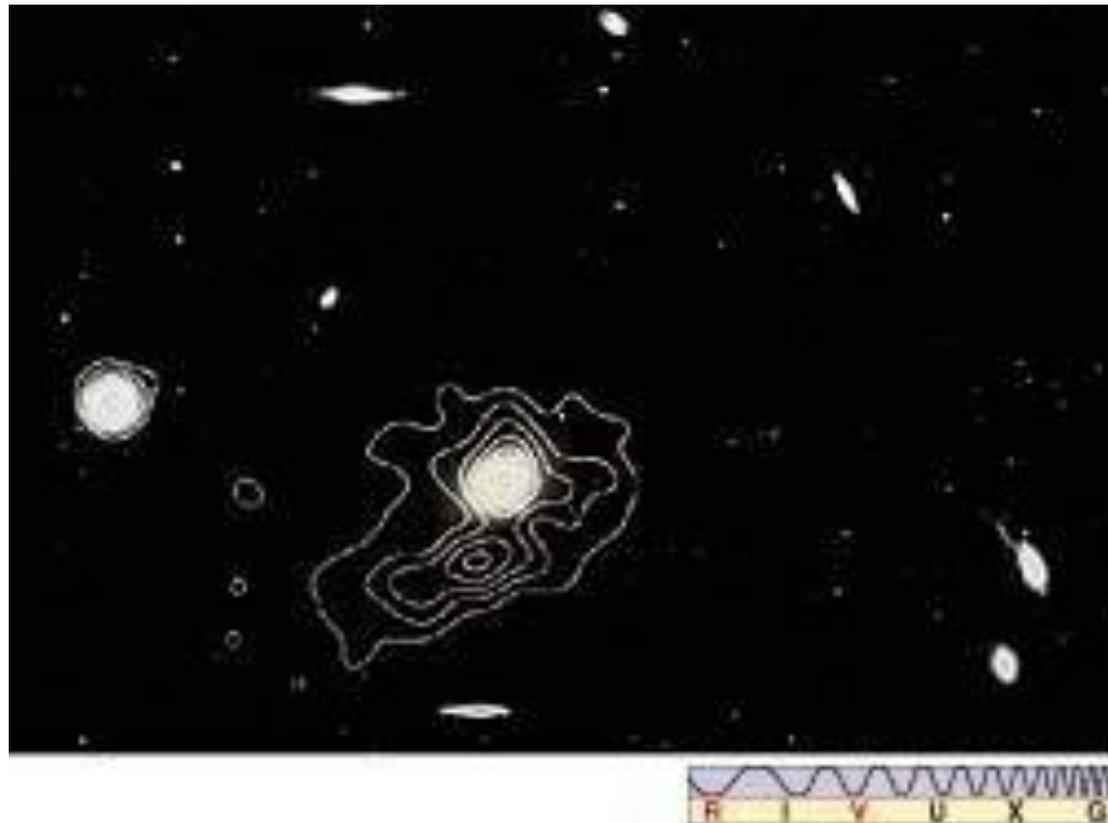
- **Emitem principalmente nos maiores comprimentos de onda rádio** (as Seyferts emitem principalmente no infravermelho e nos menores λ s rádio)
- A emissão não-estelar das Seyfert vem sobretudo de região pequena do centro da galaxia, mas a de **radio-galaxias: pode estender-se por kpc e até Mpc**

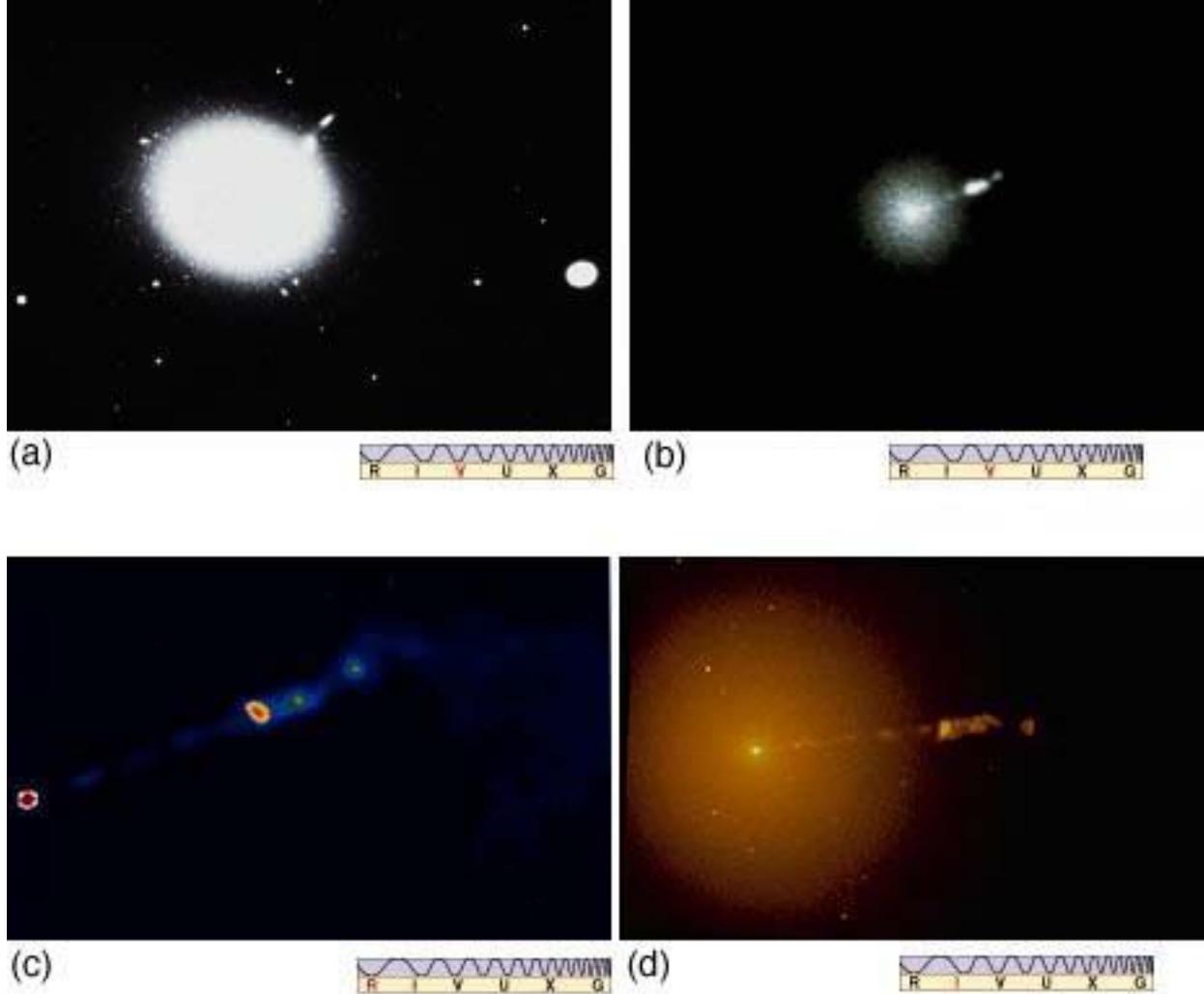


Rádio-galáxias: “*core-halo*”

- **A emissão rádio vem principalmente do núcleo central muito pequeno (*core*: < 1pc), emissão extensa é menos intensa (halo: ~50kpc)**
- **$L_{\text{rádio}}$ do núcleo $\sim 10^{44}$ erg/s** (similar à emissão total do núcleo de uma Seyfert)

Contornos de um mapa rádio de uma típica rádio-galáxia “core-halo”: A emissão vem principalmente do núcleo central, que é rodeado pela emissão menos intensa do halo.





Galaxia M87 (ou Virgo A): rádio-galáxia tipo “core-halo” gigante.

- (a) imagem visível (longa exposição) mostrando o halo externo;
- (b) curta exposição, mostrando o núcleo;
- (c) rádio-imagem do jato (escala maior que em (a));
- (d) imagem no infravermelho próximo mostrando o jato.

Rádio-galáxias: tipo “lóbulo”

- **A emissão principal vem de estruturas enormes, muito extensas, chamadas “rádio-lóbulos”**
- **Regiões extensas de gás (até alguns Mpc) muito além do centro da parte visível da galáxia: jatos supersônicos**

Rádio-galáxias: tipo “lóbulo”

- **A emissão principal vem de estruturas enormes, muito extensas, chamadas “rádio-lóbulos”**
- **Regiões extensas de gás (até alguns Mpc) muito além do centro da parte visível da galáxia: jatos supersônicos**

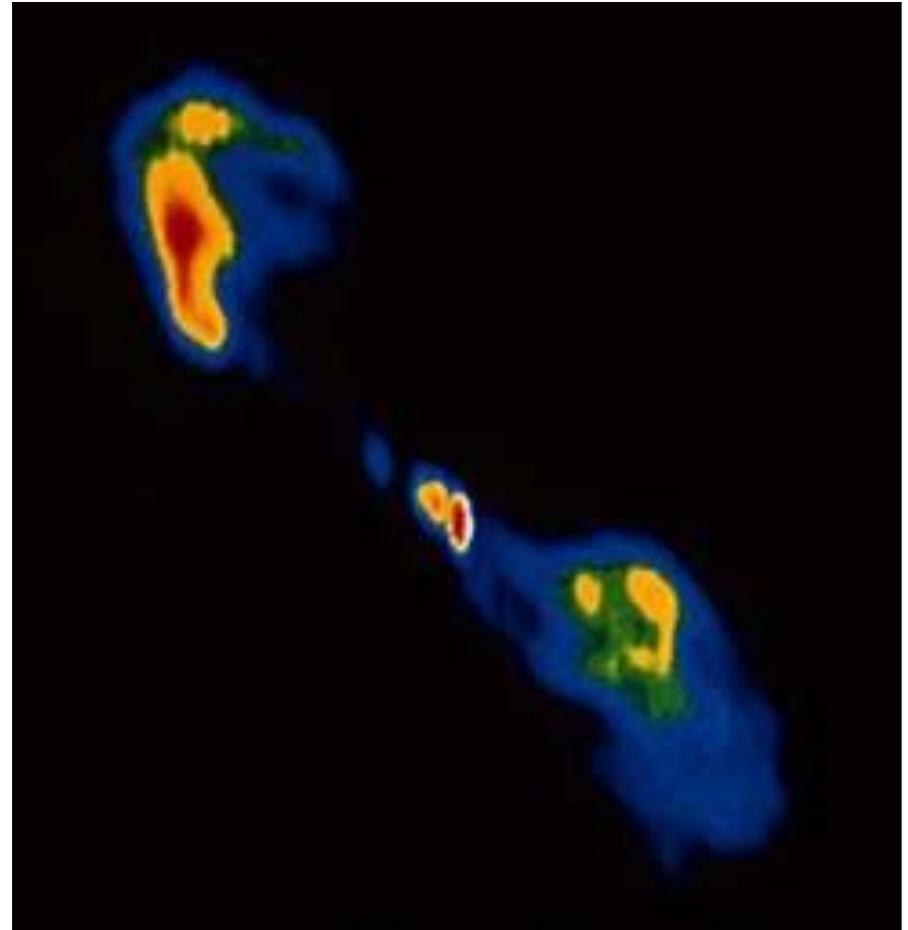
Radio Galaxia tipo radio-lobo

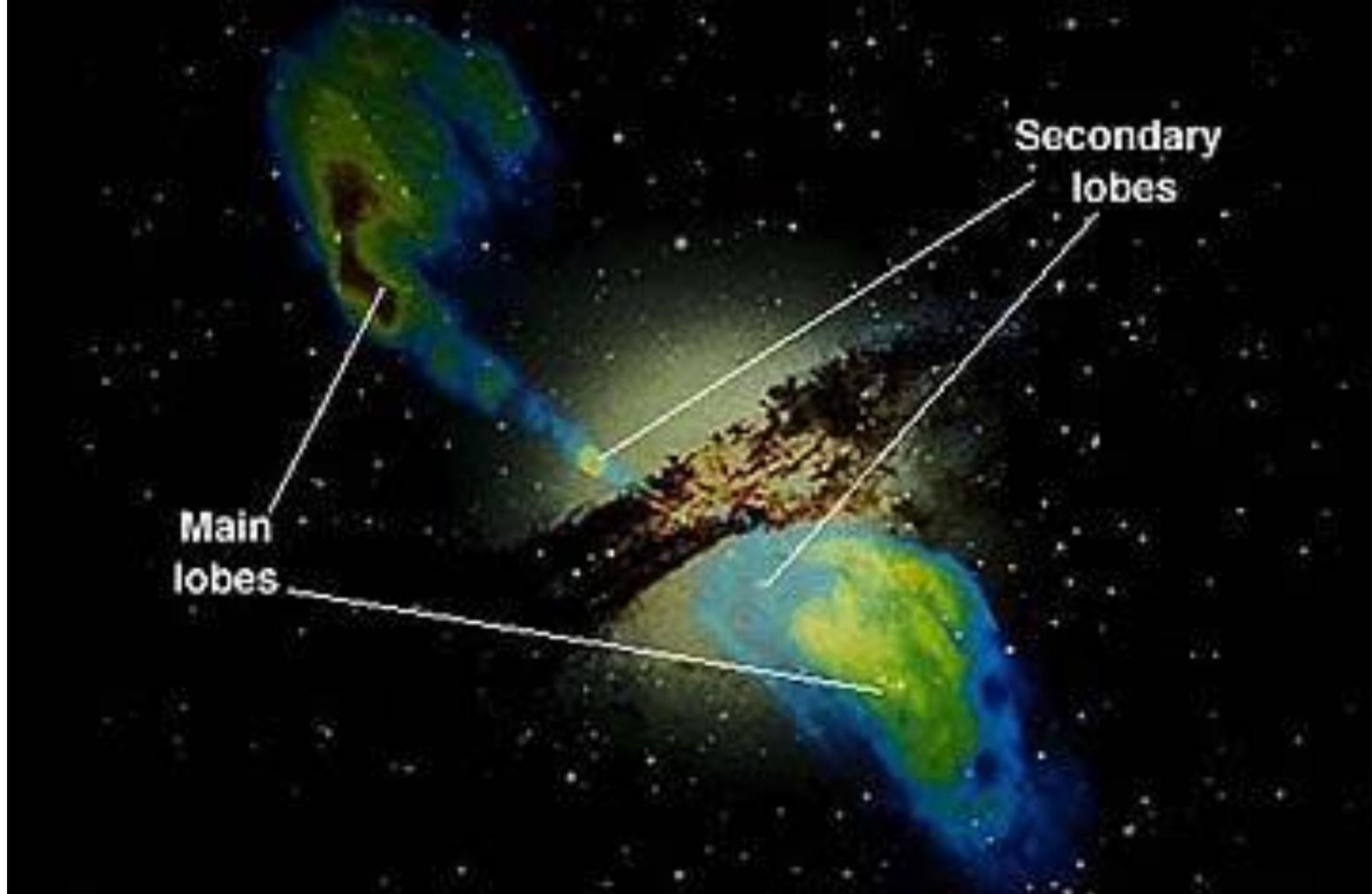
Centaurus A:

distancia: 4 Mpc de nos
(uma das galaxias ativas +
proximas)

**lóbulos de rádio-galáxia,
não emitem radiação**

visível: cores representam
níveis decrescentes de
intensidade em radio:
vermelha–amarela-verde-azul





CenA

Imagem óptica de Centaurus A superposta à emissão extensa observada em rádio: Os lóbulos não emitem no visível. Modelos sugerem que esta é resultado de uma colisão de galáxias.

(a) **Cygnus A:** provável resultado da colisão de duas galáxias (**imagem optico**)



(a)



(b) **Imagem rádio** mostra a emissão dos lóbulos de cada lado do centro visível.



(b)



Jato + lobo: 50 kpc de extensao; lobo: $D= 17$ kpc)

Emissao Extensa Radio

- **Jatos de materia: (e-, e+) ou (e-, p):** ejetados do nucleo e acelerados supersonicamente até $v \sim (0,5-0,9)c$
- **Produzem lobos brilhantes** (de ate 400 kpc): sao a regioao onde jato **impacta supersonicamente meio ambiente** (com $v > v_{som}$):
 - formando **onda de choque** que **energiza o gas** fazendo-o irradiar (brilhante)
- $L_{\text{radio dos lobos}} \sim 10^{36} - 10^{38} \text{ J/s}$ entre 0,1 e 10 L_{VL}

Radio Galaxias

- Em geral nao muito distantes
- **Associadas a galaxias E** peculiares (exs. M87 e CenA)
- **Cen A:** é E bem grande – imagem optica $D= 500$ kpc
- **M87 (Virgo):** E com $D= 100$ kpc
- **CenA:** possivelmente resultante de **colisao de 1 E com 1 S** a 500 mi. de anos
- **Cyg A:** tambem evidencia de 2 galaxias em colisao: **2 nucleos!**

Quasares

Radio galaxias não são únicas com forte emissão radio

1959-1963: 3° catálogo de Cambridge: lista de várias radio-fontes com posição coincidente com imagem óptica pontual que parecia ser uma estrela:

Exs. : **3C48 e 3C273**

Espectro de linhas (efeito Doppler): mostrou que esses objetos pontuais no óptico: muito distantes

$z = \Delta\lambda/\lambda_0 > 1$! (ver demonstração a seguir)

3C273: **d= 640 Mpc**

3C48 : **d= 1300 Mpc**

Aparência estelar desses objetos: fontes radio quase estelares =



QUASARES

Efeito DOPPLER para $z > 1$

Vimos que efeito Doppler para $z < 1 \rightarrow$ **limite classico em que $v \ll c$:**

$$z = \Delta\lambda / \lambda_0 = v/c$$

Onde v e a velocidade com que a fonte se move em relacao ao observador.

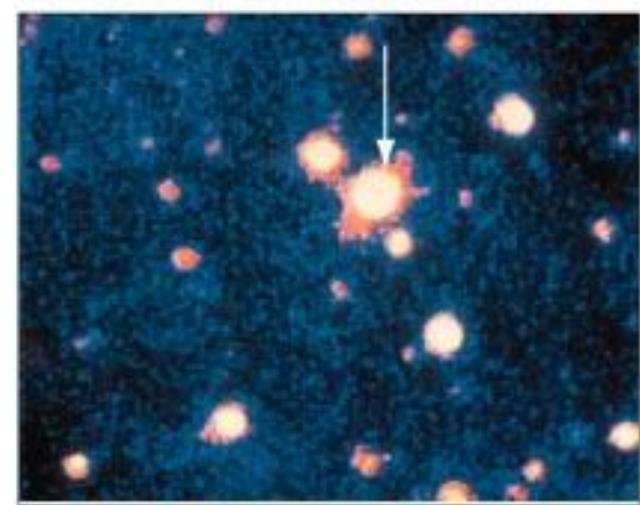
Quando v se aproxima de $c \rightarrow$ **Limite relativistico:**
a eq. acima nao vale mais. Deve ser substituida por:

$$z = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} - 1$$

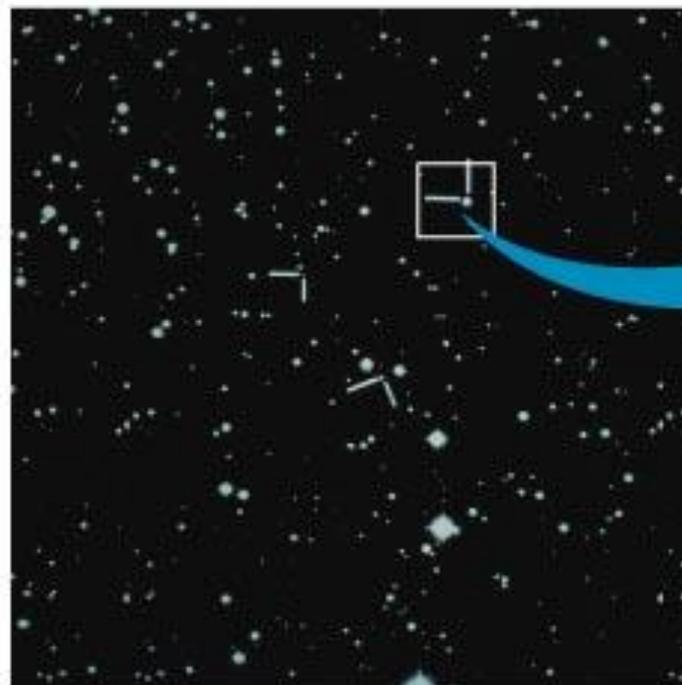
Onde $\beta = v/c$

(a) Quasar 3C 275 ($d \sim 2000$ Mpc).

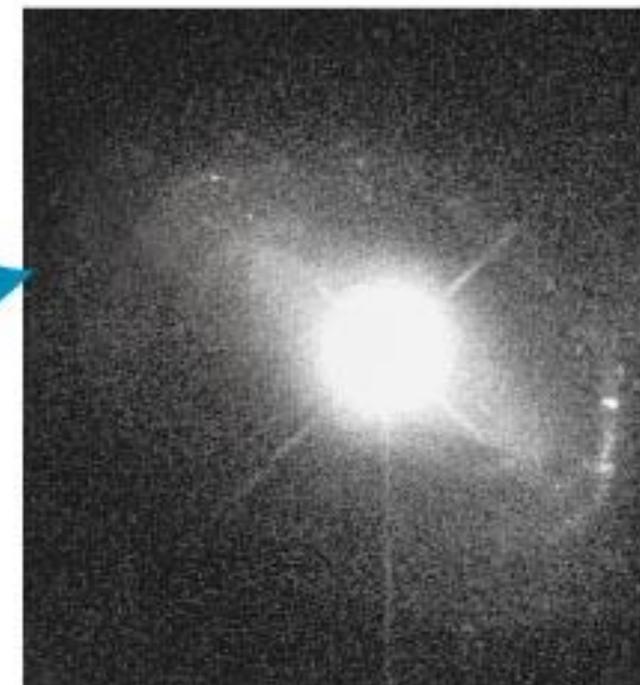
(b,c) Um campo de quasares:
incluindo QSO 1229+204, um dos
mais luminosos já descobertos ($d=$
 2000 Mpc)



(a)



(b)



(c)

Quasares (QSOs)

Tem aparência **no optico** de ponto luminoso

Emitem muita energia em volume pequeno:

$$\begin{aligned} \text{Galaxia normal S: } L(S) &= 10^{10} L_{\text{sol}} \\ \text{E: } L(E) &= 10 L(S) \end{aligned}$$

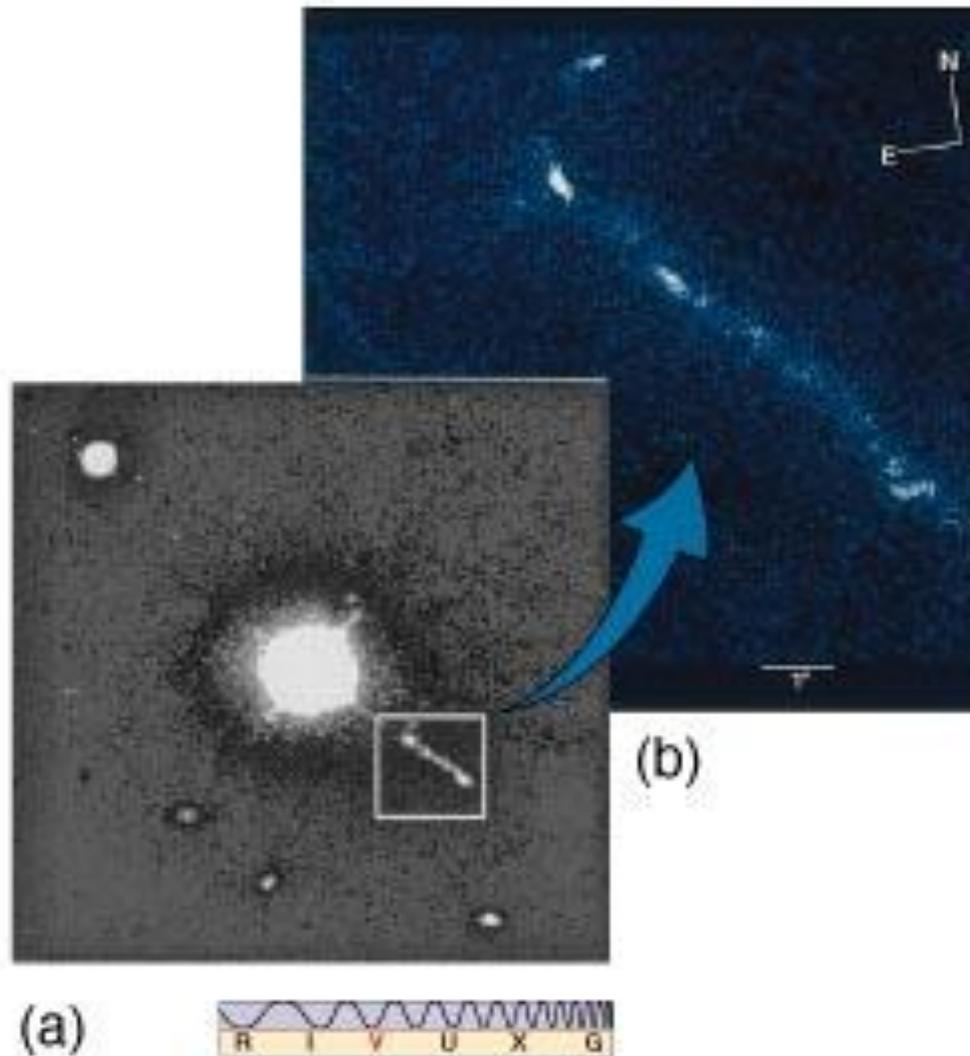
QSOs: vistos de d enormes: $L \gg L(\text{galaxias normais})$

$$L \geq 10^3 L(S) = 10^{40} - 10^{42} \text{ W}$$

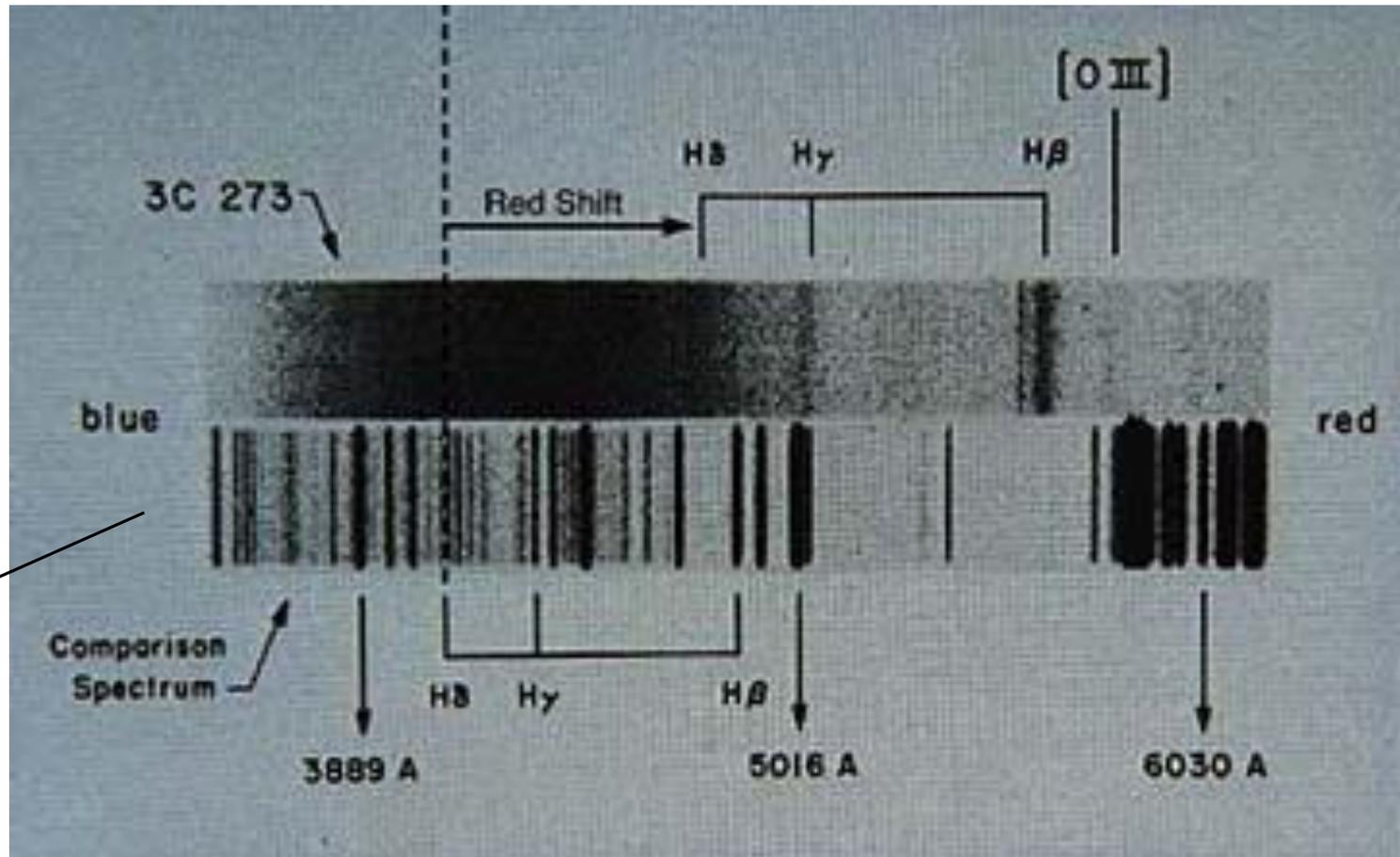
Não necessariamente radio fontes

Geralmente muito distantes: **$z = 0,06 - 6$**

QSO 3C273: com jato de 30 kpc



Espectro óptico do quasar 3C 273. Alto *redshift* e alargamento das linhas espectrais H δ , H γ e H β , indicam respectivamente, a **grande distância** do objeto e o **rápido movimento** no seu interior.



Lab.

Quasares (QSOs)

Variações muito rápidas em Luminosidade:

como objeto não pode variar em brilho + rápido que tempo que luz leva para atravessá-lo:

$$D = t_{\text{cruz}} \times c, \text{ mas } t_{\text{var}} \geq t_{\text{cruz}} \rightarrow D \leq c t_{\text{var}}$$

Ex.: se um objeto tem $D = 1 \text{ a.l.} = 1 \text{ pc} / 3,3 = 10^{13} \text{ km}$
não pode variar em brilho com período < 1 ano

Mas o brilho de alguns QSOs: varia em meses, semanas, dias, horas:
→ **Fonte de energia do QSO muito pequena!**

Se $D \leq t_{\text{var}} c = 1 \text{ dia-luz} \sim$ dimensão do SS !

Mas QSO típico: $L = 1000 L(\text{galaxia normal})$

O que está produzindo essa enorme L em volume tão pequeno em objetos a enormes distâncias??

Objetos BL Lac

Essa classe assim chamada pois recebeu nome do 1º objeto descoberto

Rapida variabilidade: similar a QSOs (meses, semanas)

Nucleos muito brilhantes de emissao não estelar

Associados a gals. E no optico

Radiação não-termica continua: principalmente no IV

Suspeita-se que sejam radio galaxias: porem com jato apontando em nossa direção: vemos a galaxia somente atraves do lobo-radio

Quasares e Galáxias Ativas

Quasares e demais galáxias ativas com intensa emissão nuclear têm muitas características em comum:

- Processos físicos devem ser os mesmos \Rightarrow escalas de intensidade diferentes.

Todos são considerados “**núcleos ativos de galáxias**” ou **AGNs**

Fonte de energia das galáxias ativas?

- Galaxias Ativas e QSOs possuem algumas ou todas as características abaixo:
- Altas $L > 10^{37}$ J/s ($>$ que de gal. Normal brilhante)
- Emissão de en.: principalmente não-estelar (não explicada pela radiação de trilhões de estrelas)
- Energia emitida: muito variável \rightarrow emitida de região central $\ll 1$ pc
- Frequentemente possuem jatos extensos e outras atividades explosivas
- Espectro de linhas ópticas: de emissão muito largas \rightarrow movimentos muito rápidos na região nuclear

Fonte de energia?

- Modelo + aceito: **BN supermassivo no centro do nucleo rodeado por disco de gas de acreção**
- Processo de acreção similar ao que ocorre com objetos compactos (estrelas de nêutrons, buracos negros-BN)
- Neste caso: **massa do BN= 10^6 a $10^9 M_{\odot}$**
- Disco de gás: formado do consumo **de etrelas inteiras e nuvens de gas da vizinhança**
- Ex.: se $0,05 M(\text{sol})/\text{ano}$ cai em BN com $M= 10^8 M_{\text{sol}}$:
→ **$L= 10^{12} L_{\text{sol}}$ (demonstrar!)**

Fonte de energia?

- Raio de Shwartzschild de BN com $M = 10^8 M_{\text{sol}}$?

$$\rightarrow R_S = M/M_{\text{sol}} 3 \text{ km} = 3 \times 10^8 \text{ km} = 2 \text{ UA}$$

→ energia gerada em volume compacto

Energia gravitacional do gas que cai do disco para o BN: é convertida em radiação

Vejamos:

En. potencial (de m) trazido do infinito para distancia R de (M):

$$EP = -GMm/R$$

Para que $m=1\text{kg}$ seja movido para $R = R_S$ do BN (com $M=10^8 M_{\text{sol}}$):

$$EP/m = -GMm/(R_S m) = 4 \times 10^{16} \text{ J/kg} = e$$

Para fornecer $L = 10^{12} L_{\text{sol}} = 4 \times 10^{38} \text{ J/s}$ requer-se acreção de:

$$L/e = (4 \times 10^{38} \text{ J/s}) / (4 \times 10^{16} \text{ J/kg}) = 10^{22} \text{ kg/s} = 10^{29} \text{ kg/ano} \\ = 0,05 M_{\text{sol}}/\text{ano}$$

Fonte de energia?

Para fornecer $10^{12} L_{\text{sol}} = 4 \times 10^{38} \text{ J/s}$ requer-se acreção de:

$$\begin{aligned} L/e &= (4 \times 10^{38} \text{ J/s}) / (4 \times 10^{16} \text{ J/kg}) \\ &= 10^{22} \text{ kg/s} = 10^{29} \text{ kg/ano} \\ &= 0,05 M_{\text{sol}}/\text{ano} \end{aligned}$$

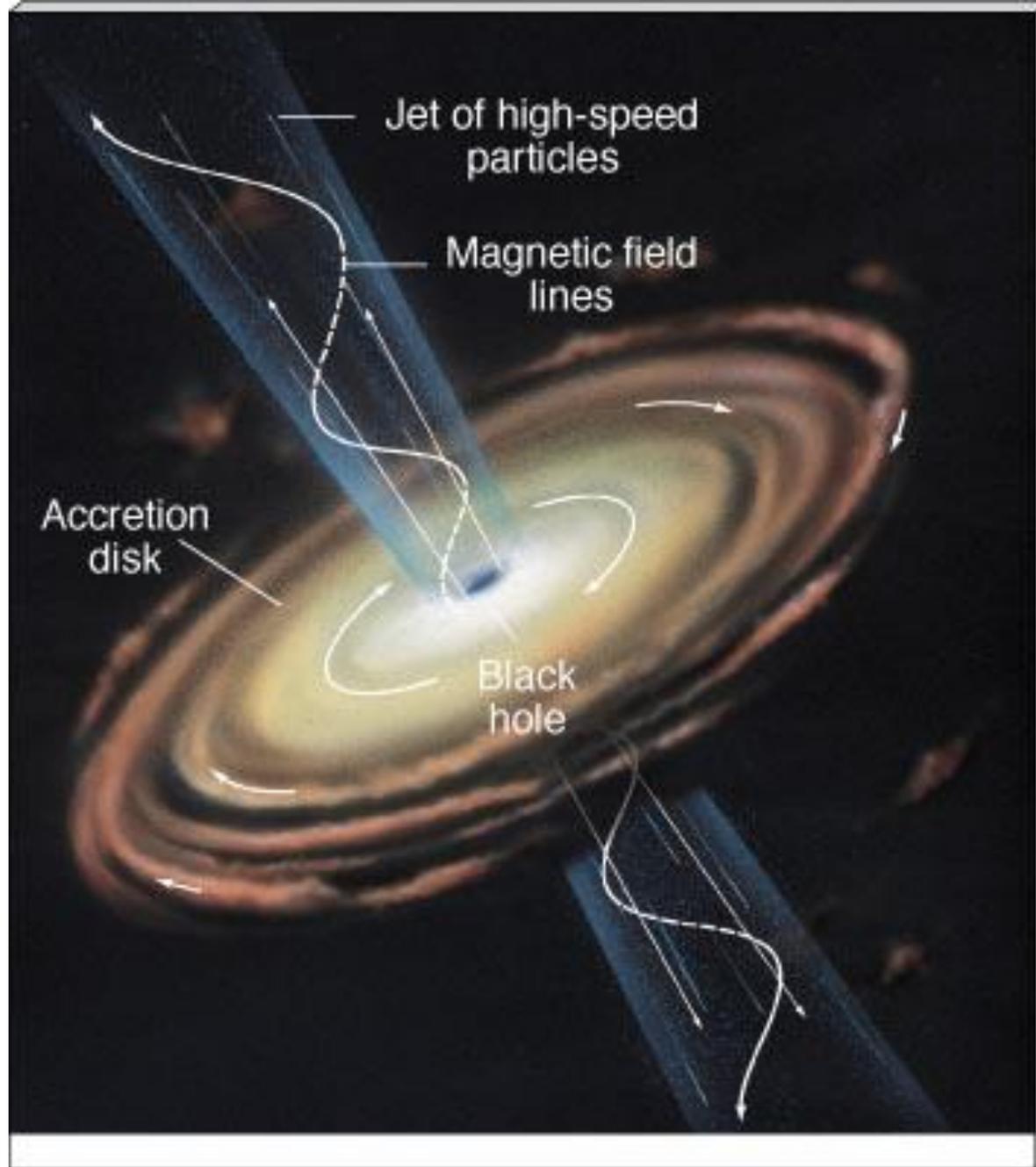
→ Se toda energia potencial for convertida em radiação: são necessárias 0,05 M(sol)/ano para produzir a radiação observada de $L=10^{12} L_{\text{sol}}$ numa galaxia ativa ou QSO

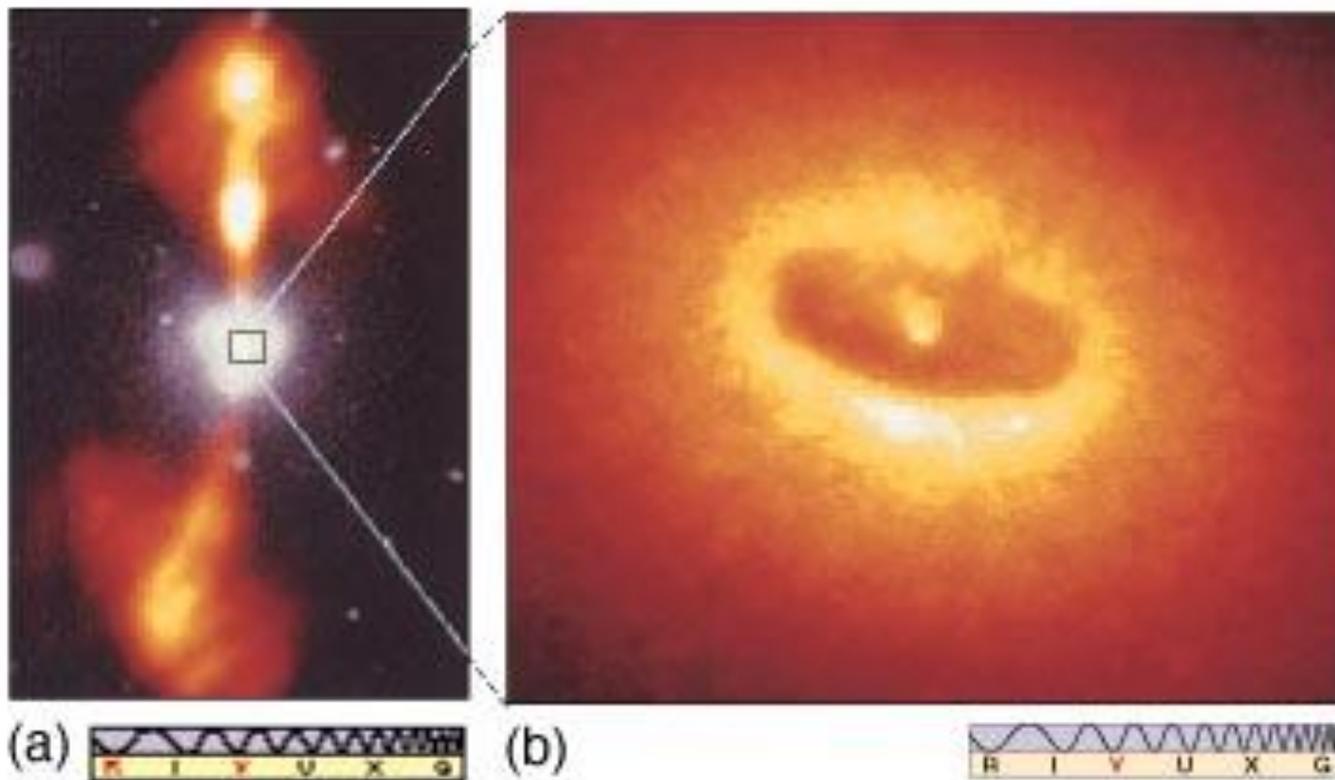
Emissão de Energia

- **Energia produzida no disco de acreção é re-processada:** absorvida e re-emitida no **infravermelho e rádio por gas e poeira ao redor do nucleo**
- **Os jatos de material:** compostos de eletrons (e prótons ou positrons): são **ejetados das regioes mais internas do disco de acrecao:**

Disco de acreção de gas sobre buraco negro supermassivo

Jatos de gás são ejetados a altas velocidades na direção perpendicular ao disco: formando os lóbulos observados em radio a grandes distâncias do centro.





- (a) Imagem combinada óptico/rádio da galáxia elíptica gigante NGC4261, mostra a imagem branca da galáxia visível. Nas cores (falsas) alaranjadas os lóbulos rádio estendem-se até 60kpc;
- (b) Imagem do núcleo da galáxia revela um disco de 100pc de diâmetro que pode abrigar um buraco negro.

Emissao de Energia

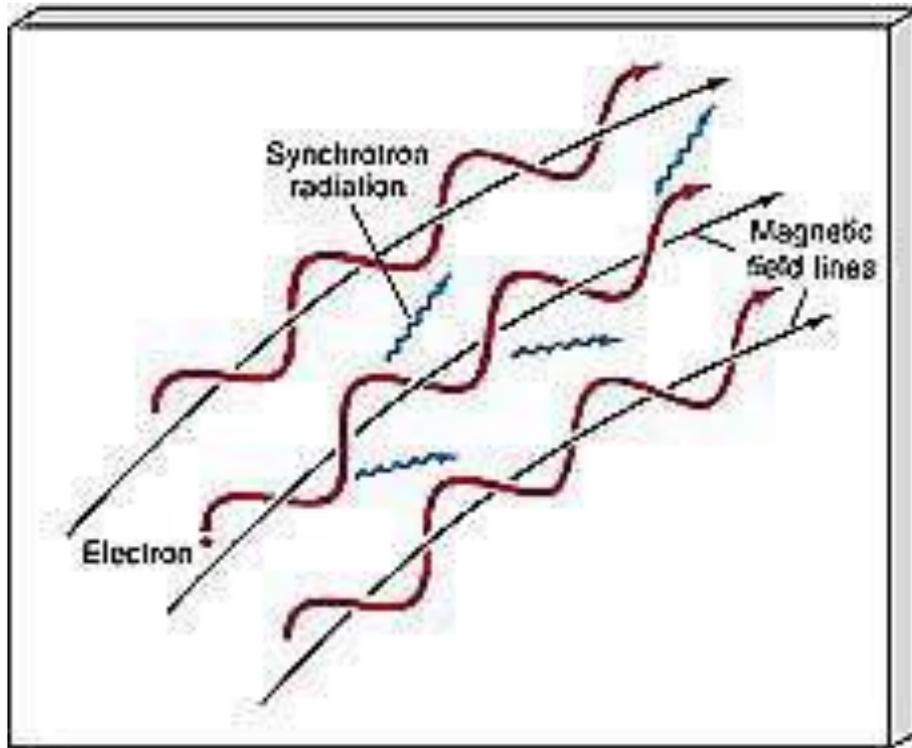
→ Jatos de material: contêm **fortes campos magnéticos**:

els. (partículas carregadas): espiralam e **são acelerados ao redor de B**

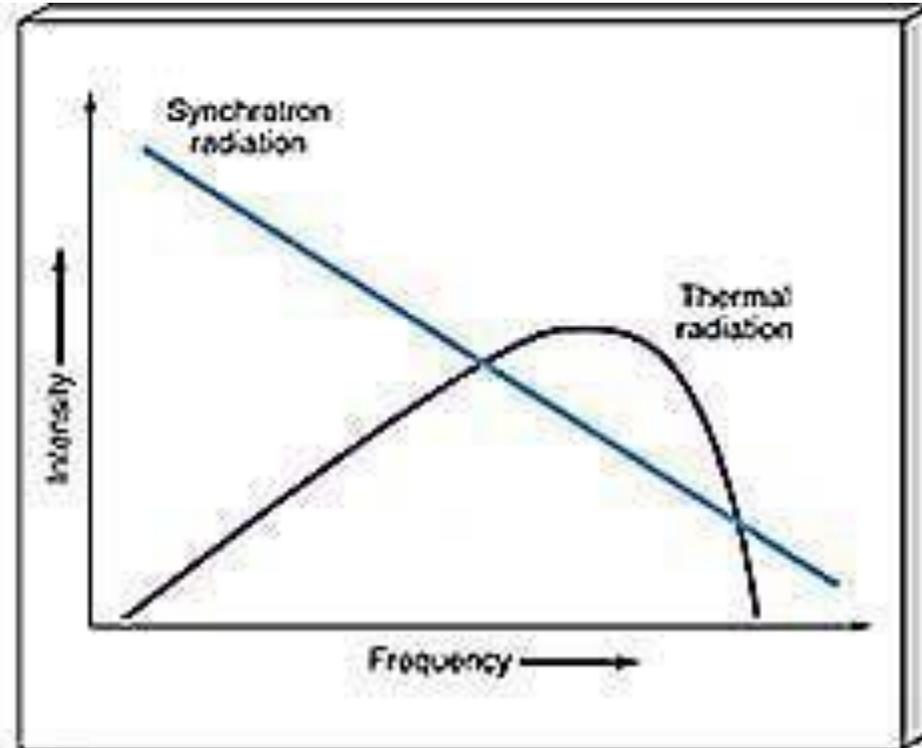
→ emitem **radiação síncrotron**:

origem não-térmica pois não tem conexão com temperatura do gás emissor

(a) **Partículas carregadas** e em altas velocidades emitem **radiação sincrotrônica** enquanto espiralam em um campo magnético; (b) **intensidade de emissões térmica (Planck) e síncrotron** comparadas



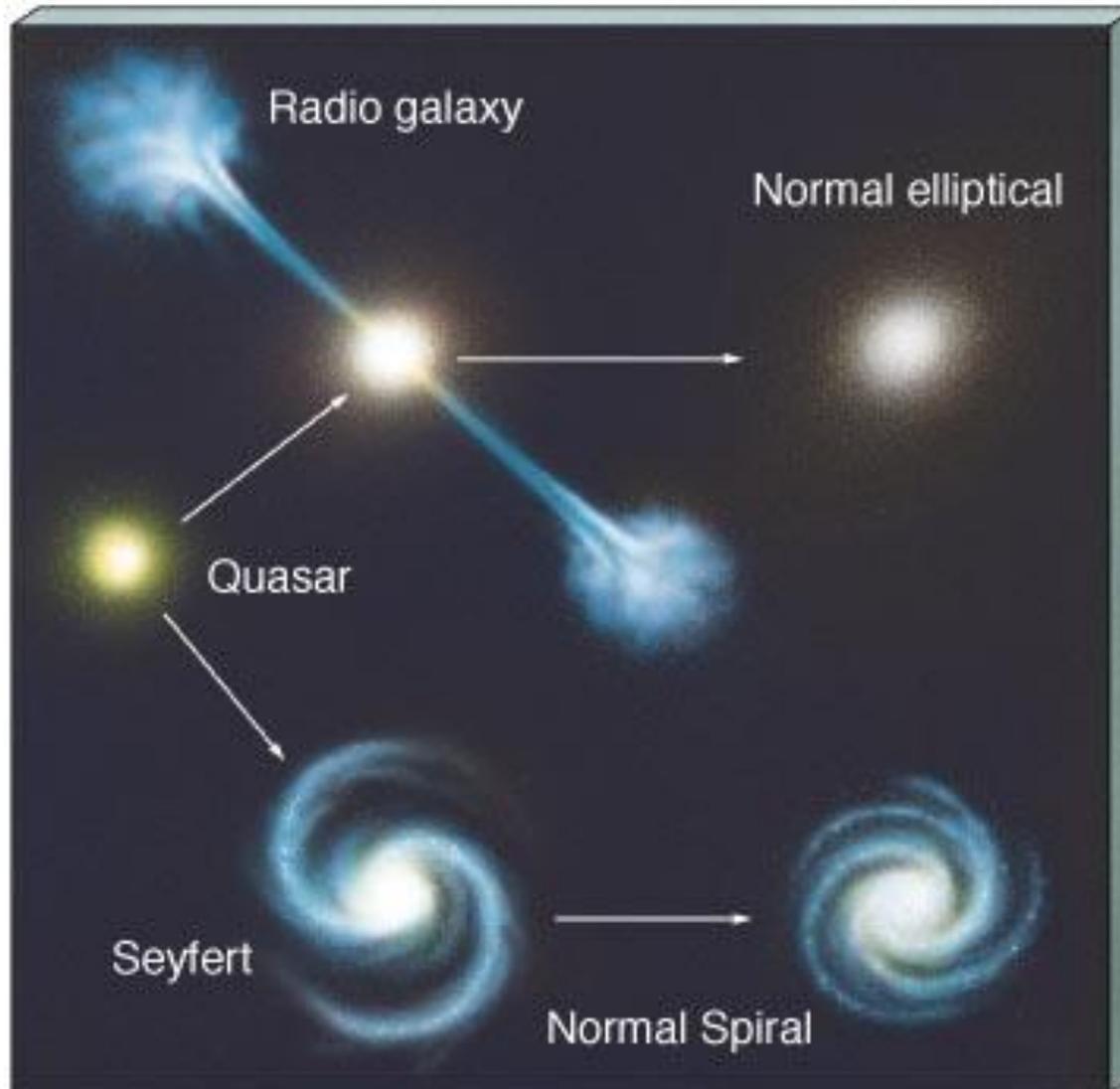
(a)



(b)

Evolução das Galaxias Ativas?

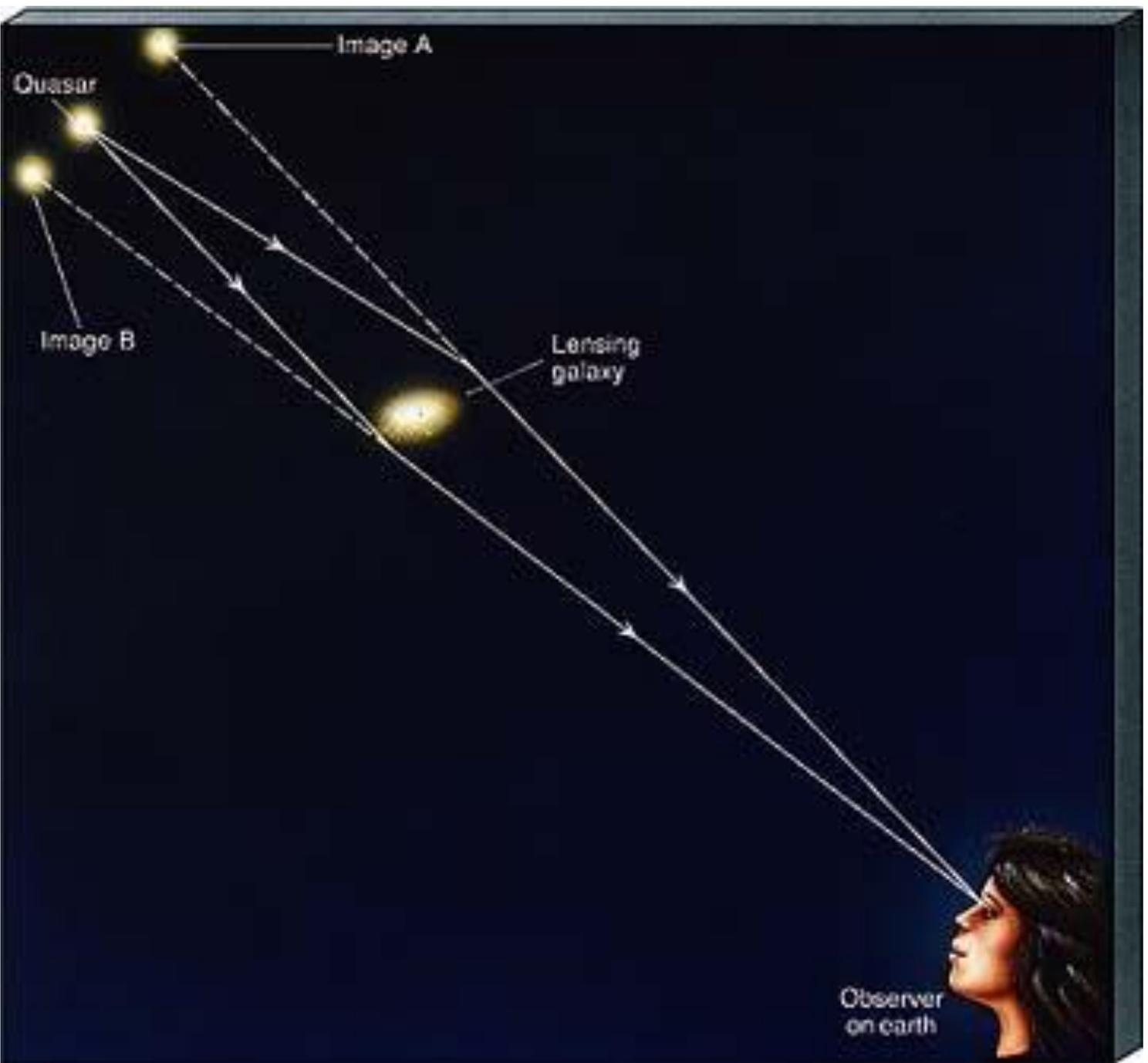
- Maioria dos QSOs: bem distantes (z grandes): eram mais comuns no passado
 - Sugere que quando galaxias começaram a se formar: eram QSOs?
 - Presença de BN supermassivos nos centros de muitas galaxias normais (ex. VL): consistente com ideia de que começaram como QSOs que depois tornaram-se objetos + calmos (hoje)
 - à medida que suprimento de combustível se reduziu:
 - Galaxias Seyfert poderiam ter se tornado S normais
 - Radio-galaxias: teriam se tornado E normais
- Teoria ainda necessita de confirmação!!



Uma possível seqüência evolutiva para galáxias, começando com um quasar altamente luminoso, decrescendo (em violência) para Seyfert ou rádio galáxias, terminando em galáxias normais, espirais ou elípticas.

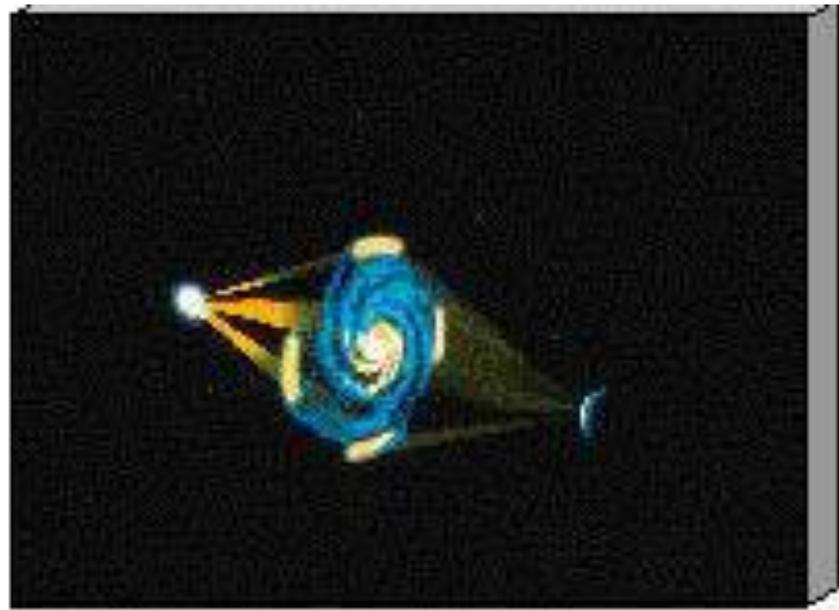
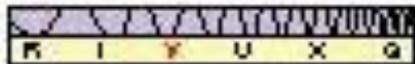
Lentes gravitacionais

- Descoberta em 1979 de quasares observados como “binários”, tendo exatamente mesmo *redshift* e espectro
- Rádio emissão revelou que se tratava do mesmo objeto, visto em imagem duplicada
- Efeito de **lente gravitacional**: deflexão e focalização de luz pela presença de objeto massivo no campo entre observador e quasar





(a)



(b)

(a) Cruz de Einstein, uma imagem de quasar múltiplo, efeito produzido pela presença de galáxia no centro. (b) Concepção artística do que deve estar ocorrendo para formar a imagem observada em (a).



Lente gravitacional causada por um aglomerado de galáxias: centena de arcos fracos: distorção da luz proveniente de galáxias distantes.