

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Física

Departamento de Astronomia

Galáxias Ativas, Quasares e Buracos
Negros Supermassivos

Rogério Riffel
riffel@ufrgs.br

Núcleo Ativo de Galáxia (AGN)

São galáxias que emitem uma enorme quantidade de energia com espectro **não térmico**. Ou seja, a radiação proveniente do um **AGN** não pode ser explicada apenas por processos térmicos gerados no interior das estrelas.

Principais características:

Alta luminosidade (maior do que $10^{11} L_{\odot}$);

Contínuo dominado por emissão não térmica – Radio-Raio γ ;

Variabilidade rápida (dias/horas);

Alto contraste de brilho entre o núcleo ativo e a galáxia hospedeira;

Linhas de emissão intensas, muito largas em alguns casos.

TIPOS DE AGNs

Classificadas de acordo com sua aparência e natureza da radiação emitida.

Galáxias Seyfert (Carl Seyfert – 1943): Apresentam um núcleo ativo muito brilhante . A energia emitida pelo núcleo é várias vezes maior que energia da galáxia hospedeira.

A velocidade de rotação do gás varia de:

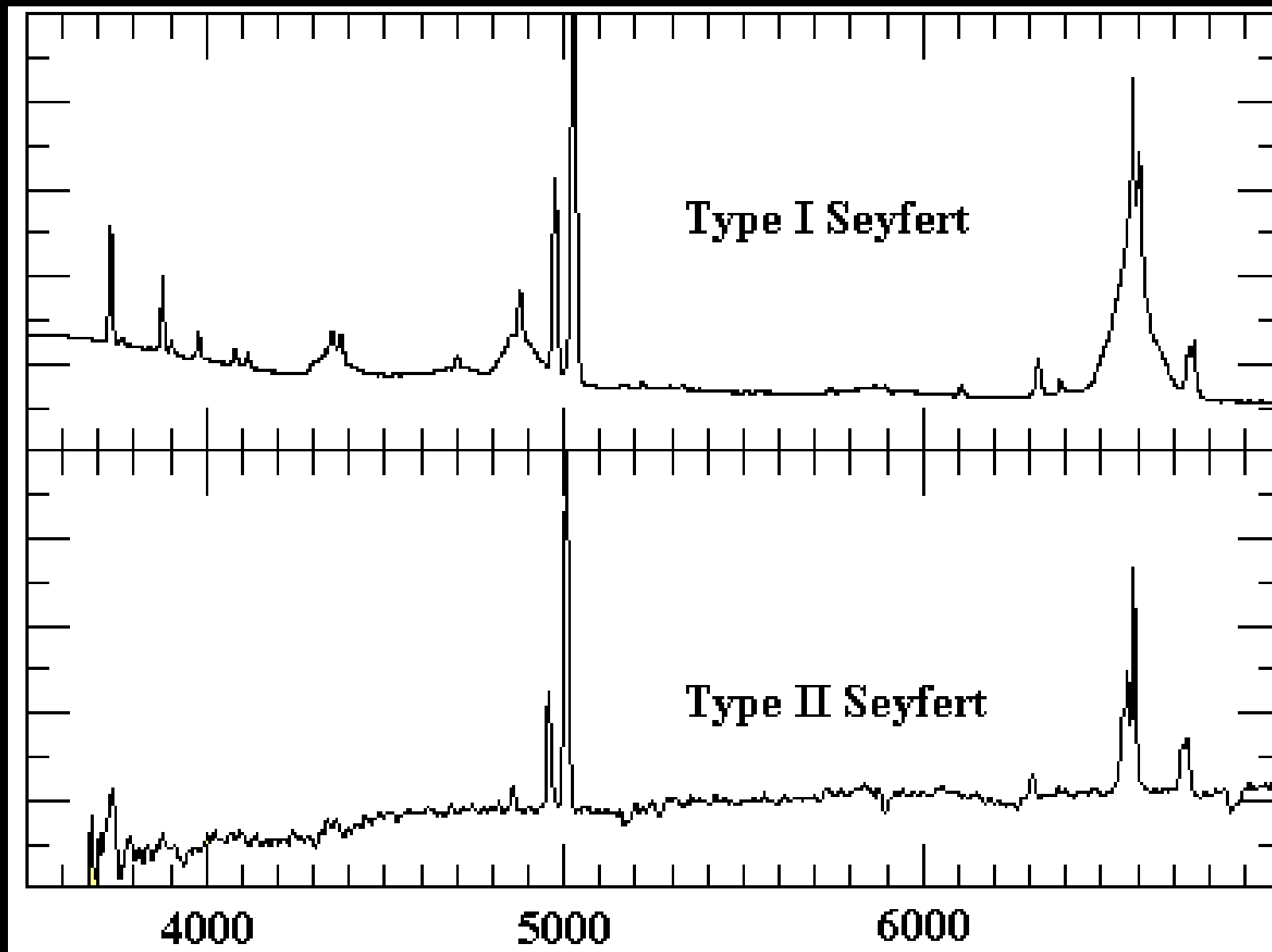
1000 e 10000 km/s Seyfert 1 – Linhas largas

200 e 1000 km/s Seyfert 2 – Linhas estreitas

NGC 7469

NGC 2110

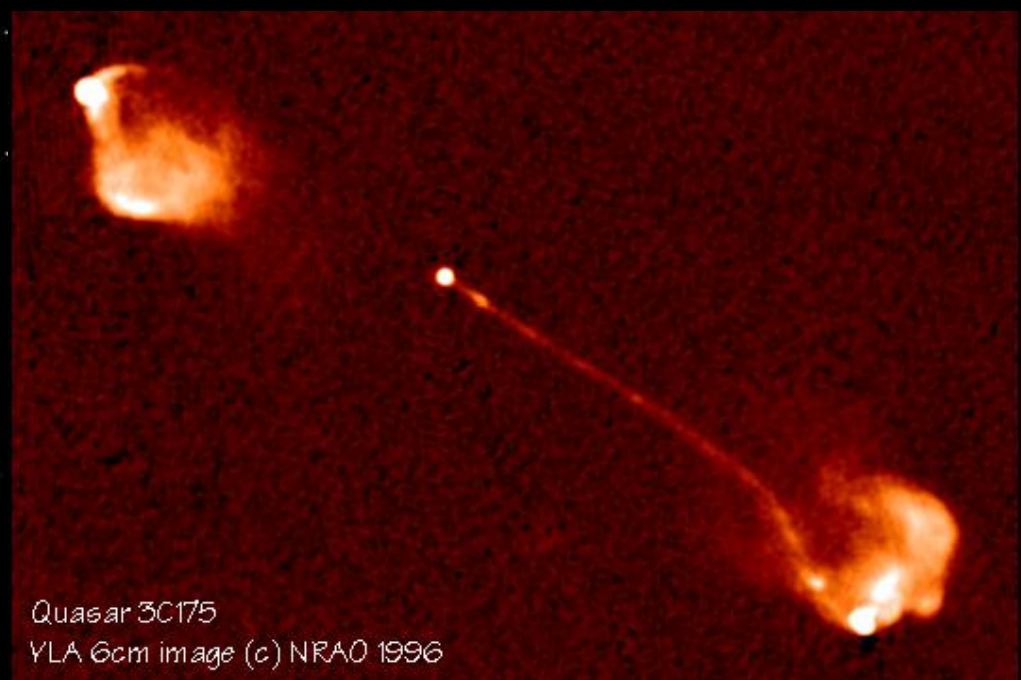
Galáxias Seyfert



Quasares: Foram descobertos como sendo fontes de aparência estelar (na banda ótica) porém com emissão muito intensa na banda de rádiofreqüências (z até 6.5).

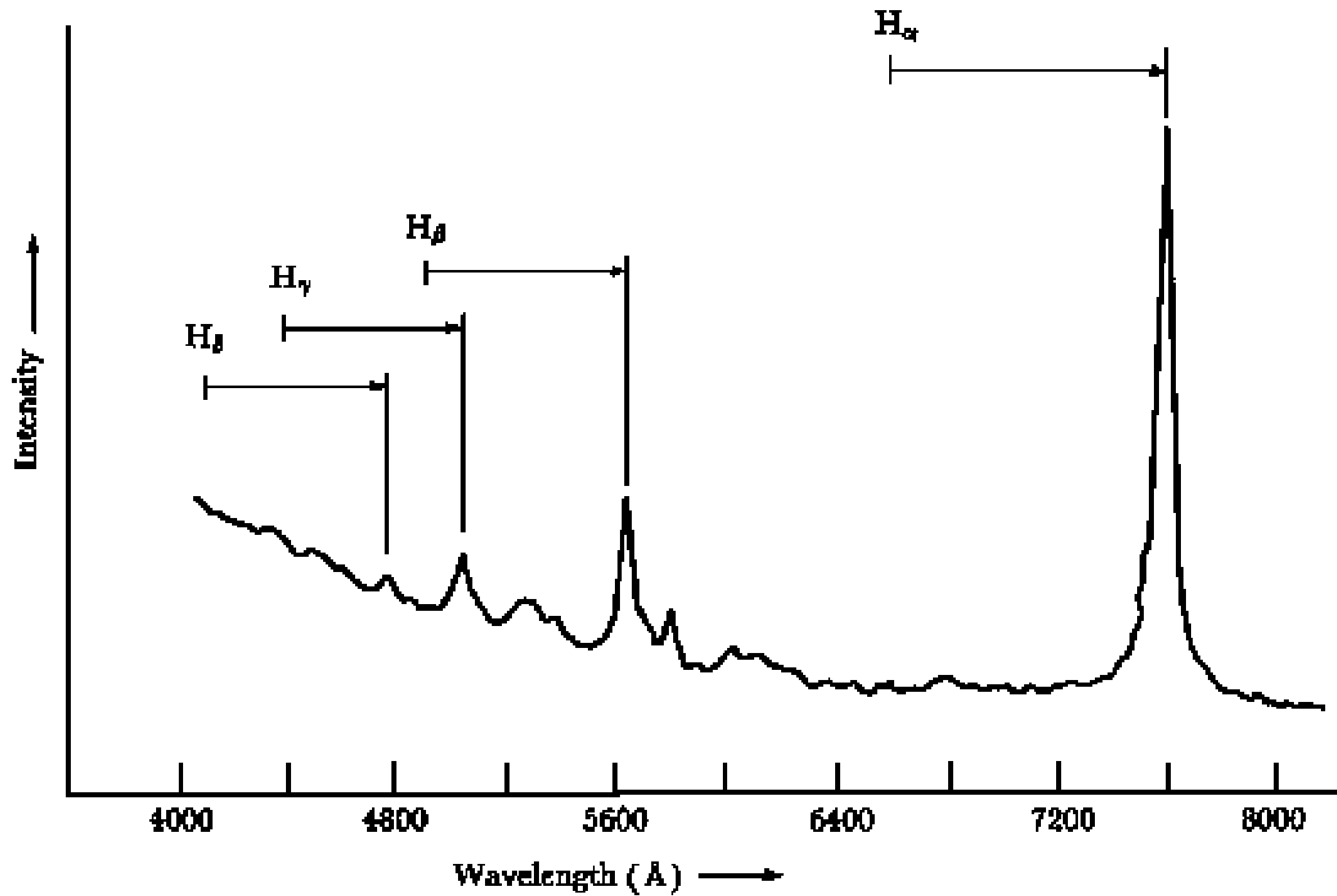


3C2173 é um dos objetos mais brilhantes já observados (está a 2 bilhões de anos-luz.)

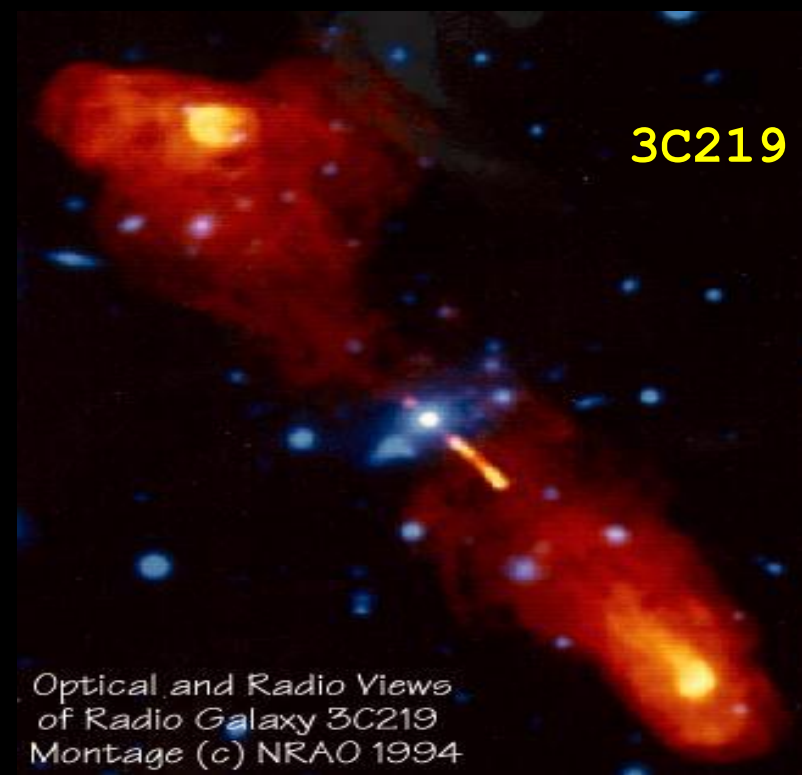


Os jatos relativísticos ionizam o meio a grandes distancias da fonte central.

Quasars



Radiogaláxias: São radiofontes muito intensas, nas quais o meio galáctico pode ser distinguido do núcleo.



Objetos BL Lacs: Estes objetos apresentam alta polarização da radiação emitida nas banda ótica e rádio.

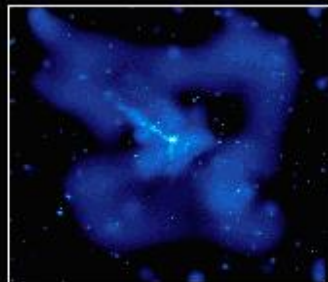
LINER: São galáxias com o núcleo ativo e de baixa ionização.

Centaurus A

Lenticular

14 Milhões anos luz;

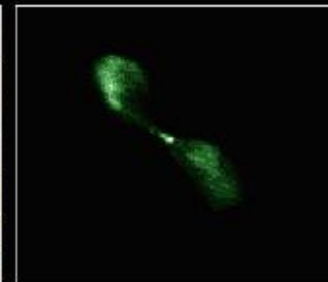
É uma das rádio galáxias mais próximas.



CHANDRA X-RAY



DSS OPTICAL

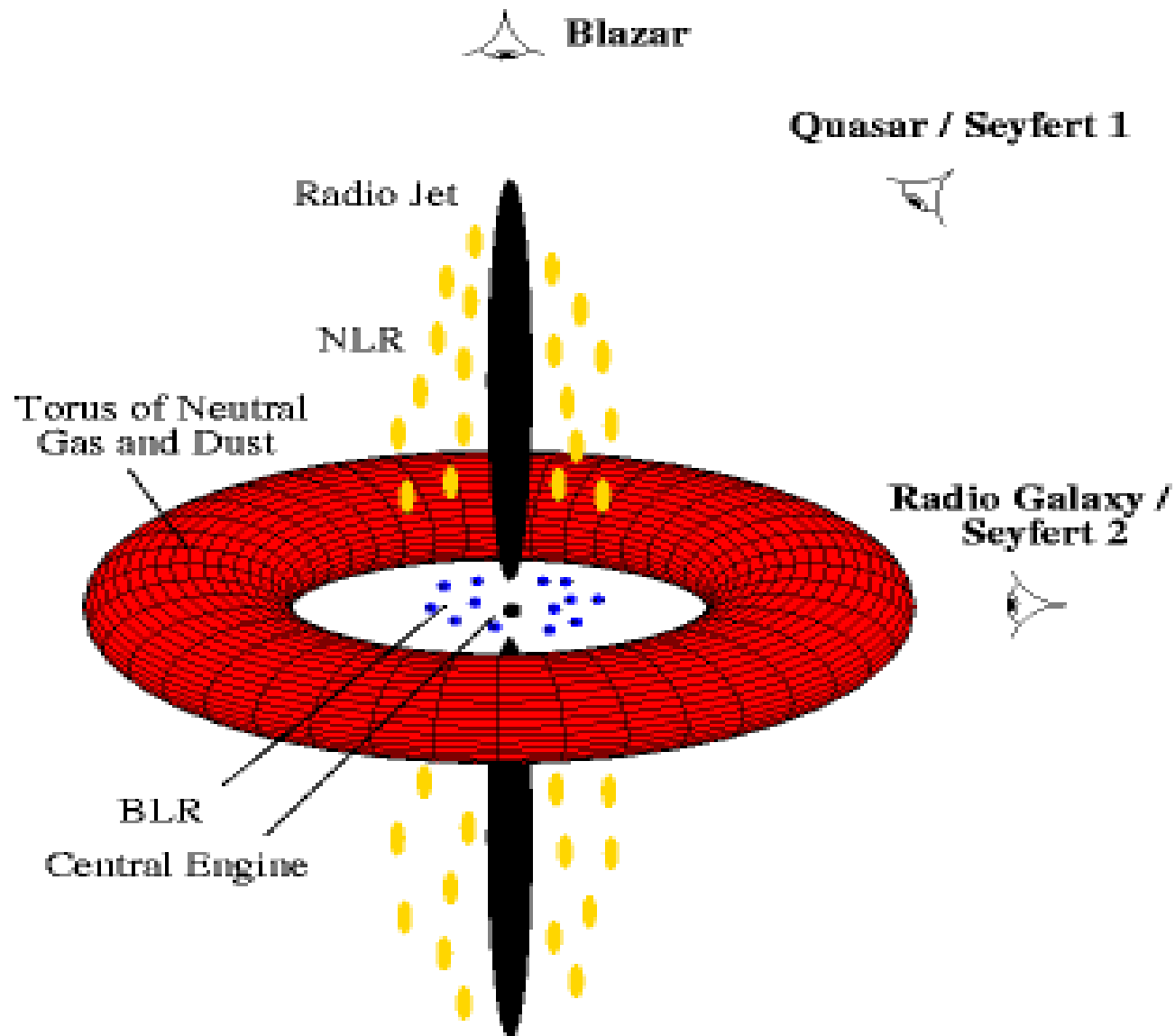


NRAD RADIO
CONTINUUM



NRAD RADIO
(21-CM)

Modelo Unificado de AGNs



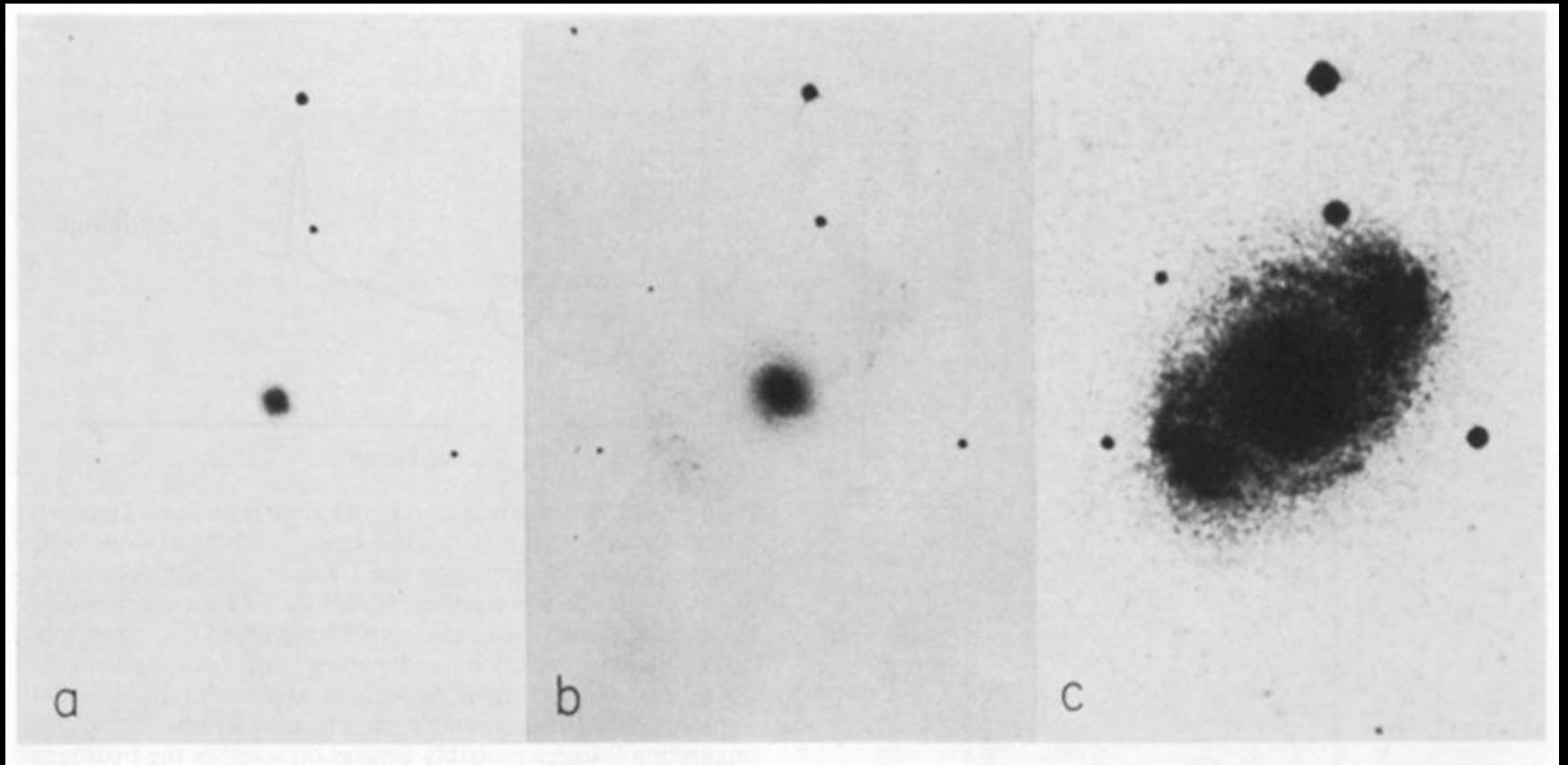
Modelo Unificado de AGNs

Eclipse do Buraco Negro por um nuvem de gás



Qual a origem da energia emitida pela “fonte central”?

Tamanho do núcleo frente a galáxia



NGC 4151 → T exp.

Massa da fonte Central – Primeira estimativa

Os núcleos das galáxias Seyfert não podem ser maiores que 100 pc pois eles parecem como fontes pontuais no optico (1959 – Woltjer);

$$F_g = F_c \quad \Rightarrow \quad \frac{GmM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{GM}{r} = v^2 \quad \Rightarrow \quad M = \frac{v^2 r}{G} \quad \Rightarrow \quad M \sim v^2 r$$

Massa da fonte Central

- ✓ Considerando $r \leq 100$ pc e $v = 1000$ km/s (FWHM);

$$M \geq \frac{(1000)^2}{G} \left(\frac{r}{100\text{pc}} \right) M_{sol} \longrightarrow M \geq 10^{10} \left(\frac{r}{100\text{pc}} \right) M_{sol}$$

Implicações

- ✓ Enorme concentração de massa na região central ($10^{10} M_{sol}$);
- ✓ ou r é muito menor, o que implica em uma enorme densidade de energia dentro do AGN!

BURACOS NEGROS

Força gravitacional: $F = \frac{GMm}{R^2}$

Velocidade de escape: $\frac{mv_{esc}^2}{2} = \frac{GMm}{R}$ $v_{esc}^2 = \frac{2GM}{R_{Sch}} = c^2$

Raio de Schwarschild: $R_{Sch} = \frac{2GM}{c^2}$

Quando $v=c$, temos um Buraco Negro.

Terra = 9 mm.

Sol = 3 km;



Sol:

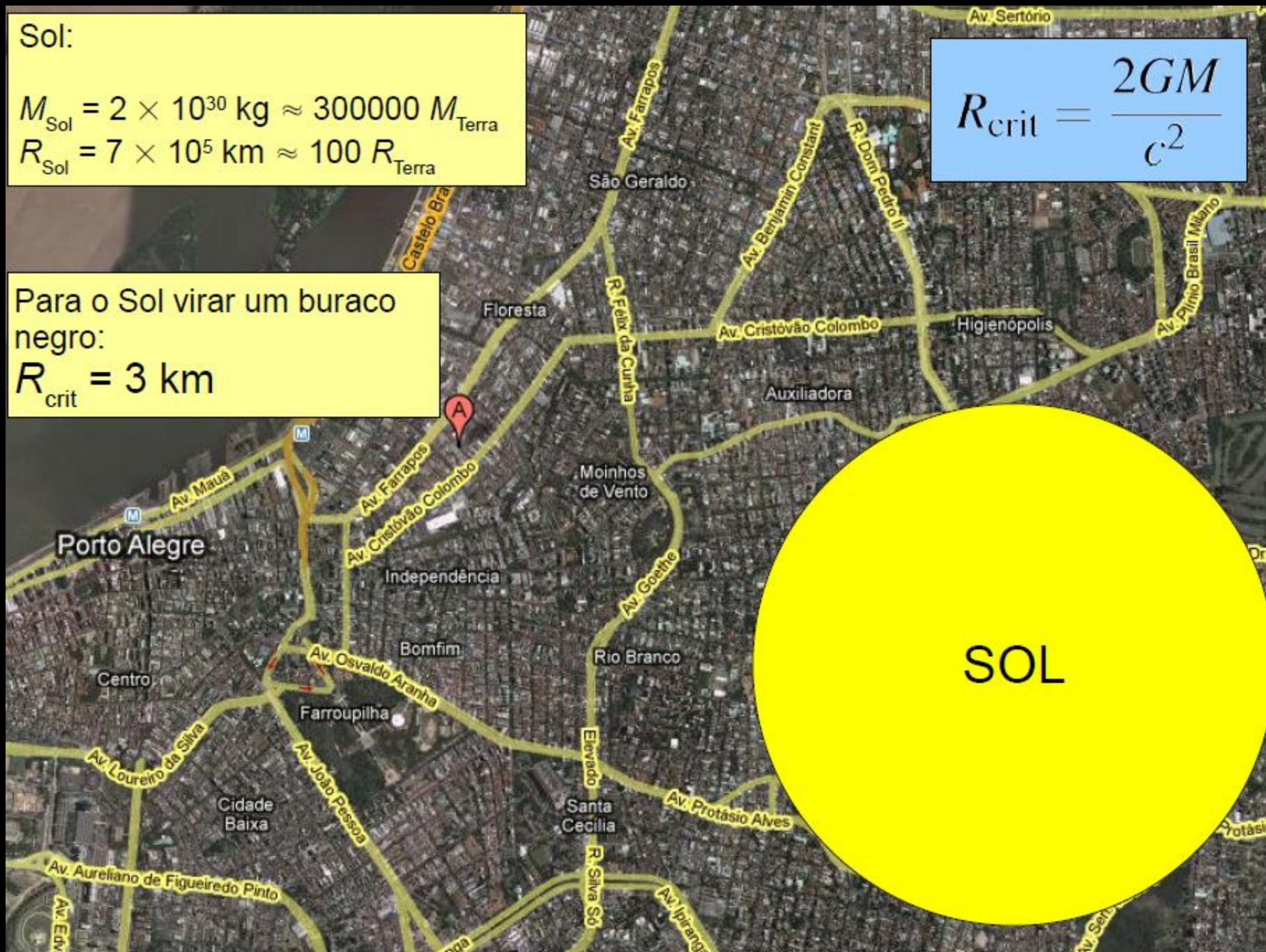
$$M_{\text{Sol}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg} \approx 300000 M_{\text{Terra}}$$

$$R_{\text{Sol}} = 7 \times 10^5 \text{ km} \approx 100 R_{\text{Terra}}$$

$$R_{\text{crit}} = \frac{2GM}{c^2}$$

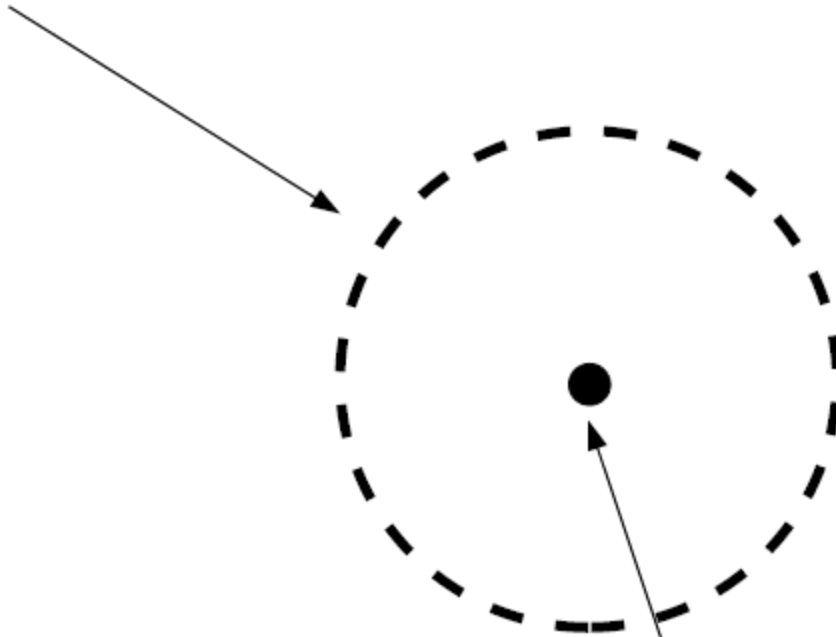
Para o Sol virar um buraco negro:

$$R_{\text{crit}} = 3 \text{ km}$$



BURACOS NEGROS

horizonte de eventos

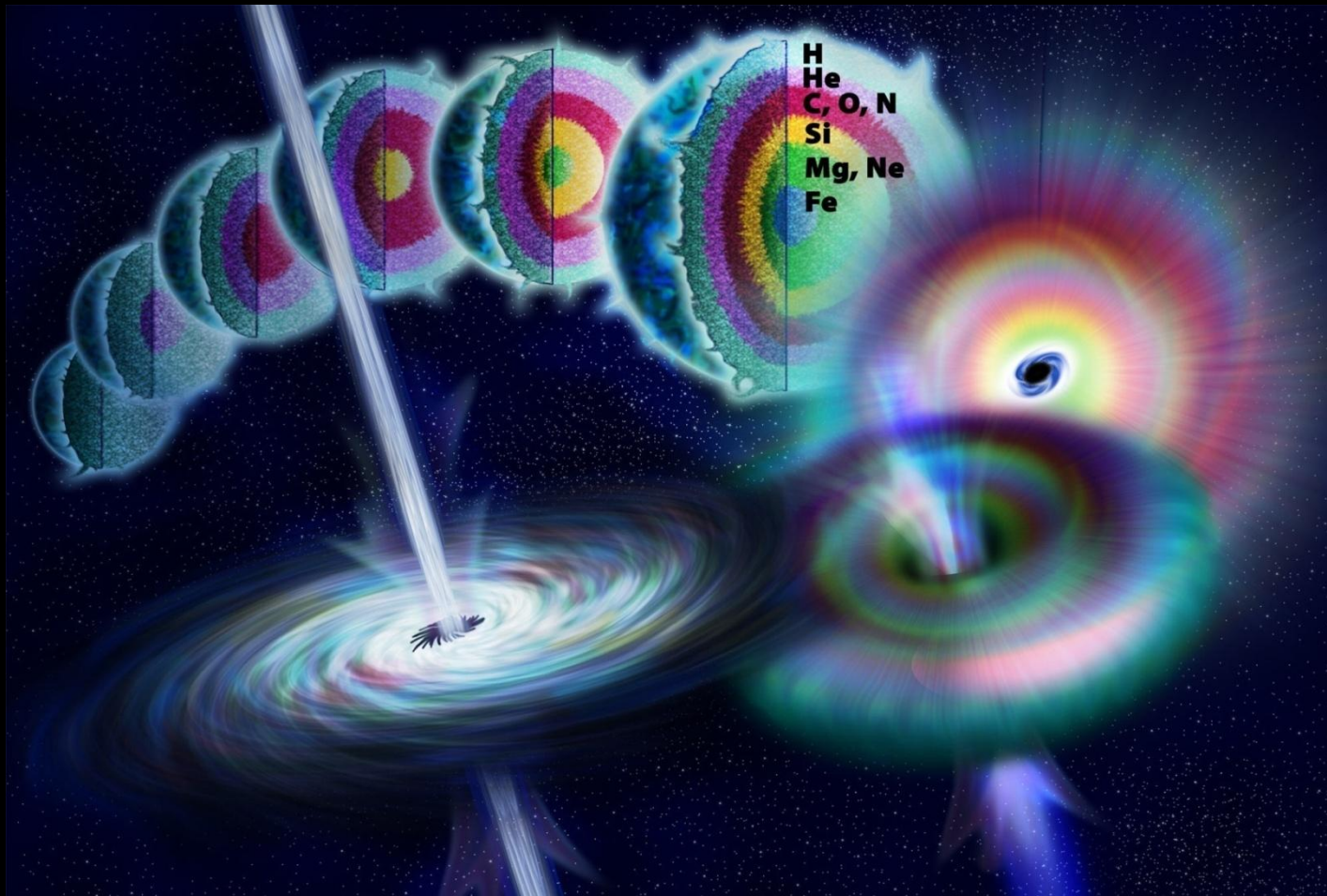


singularidade central: ponto que concentra toda a massa do buraco negro, onde a densidade é *infinita*

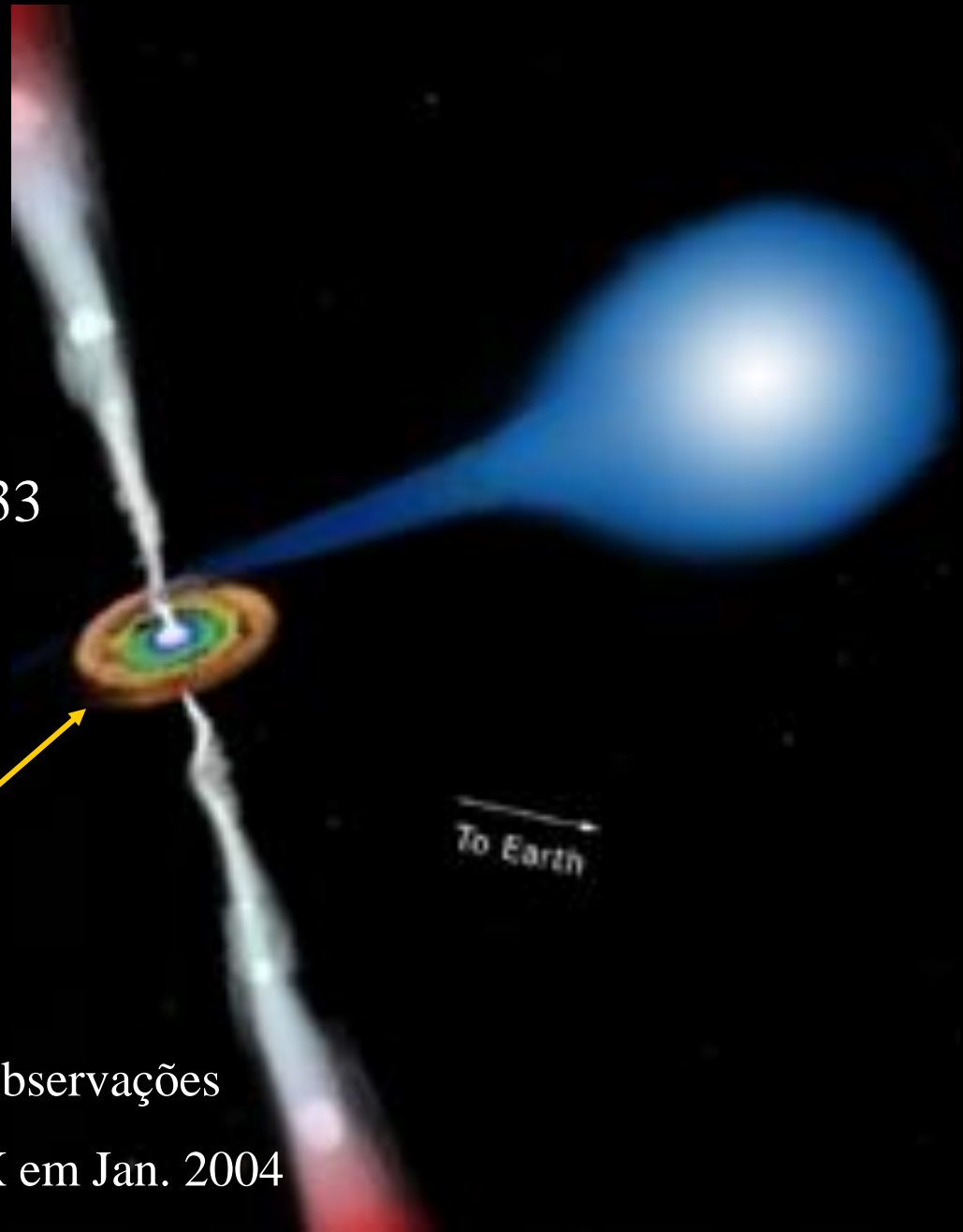
Como se formam?

Depende do tipo:

1) Estelares: final da vida de estrelas massivas:
explosão como supernova

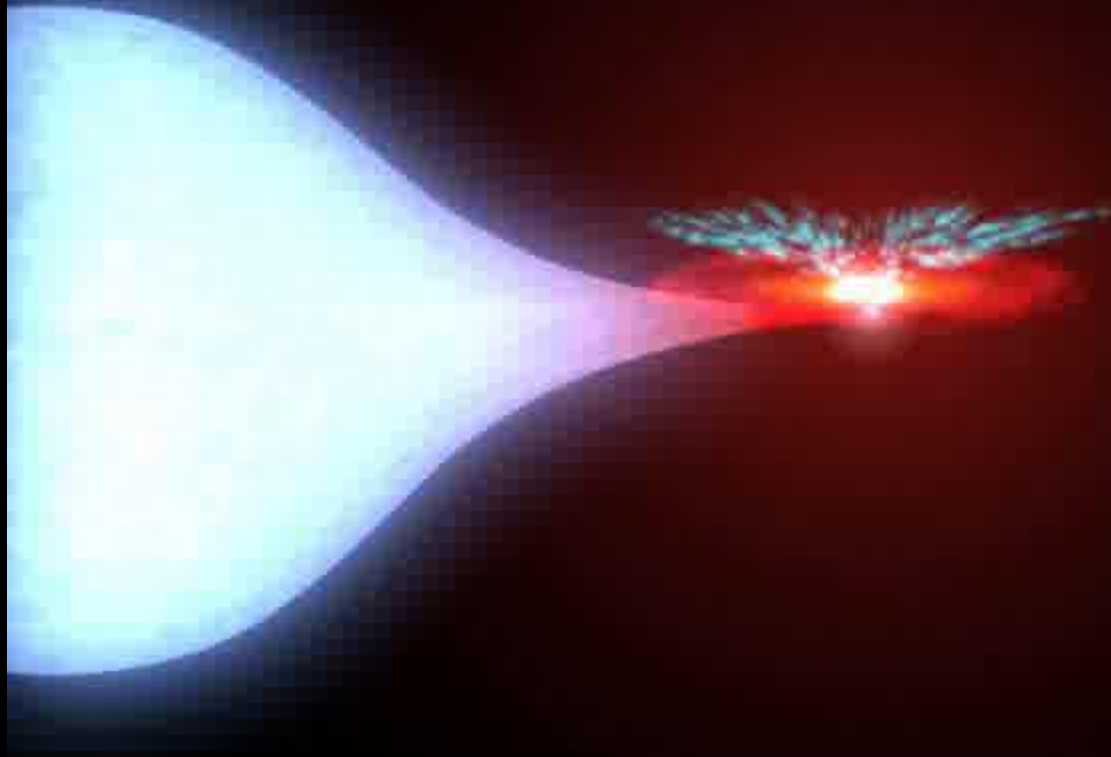


Exemplo: Sistema binário SS433



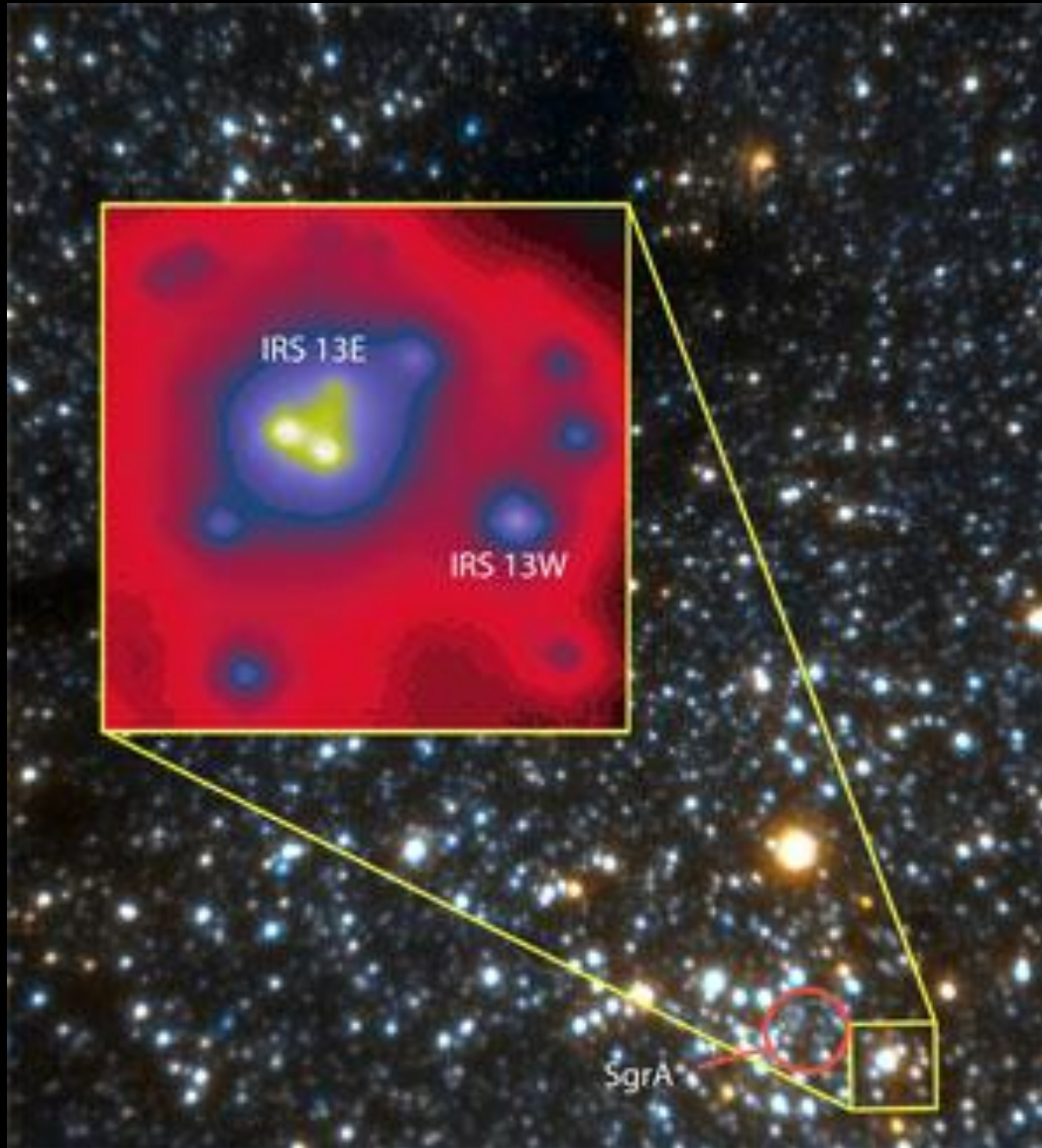
Concepção artística de SS433 de observações
com o satélite Chandra de Raios-X em Jan. 2004

Animação do sistema GRO J1655-40



Matéria da estrela sendo acretada pelo buraco negro.

2) Buracos negros de massa intermediária: associados a aglomerados de estrelas

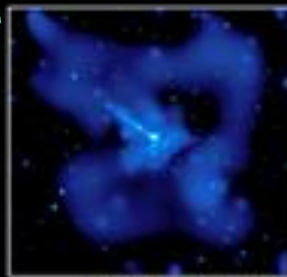


IRS13 (Maillard Nov. 2004), em imagens de ótica adaptativa com Telescópio Gemini: BN de massa $1300 M_{\text{Sol}}$ próximo ao centro da Via Láctea.

3) Buracos negros supermassivos:

No centro das galáxias, com massas de milhões a bilhões de vezes a massa do Sol.

Exemplo: galáxia ativa (rádio-galáxia) Centaurus A (BN de 100 Milhões de massas Solares)



CHANDRA X-RAY



DSS OPTICAL

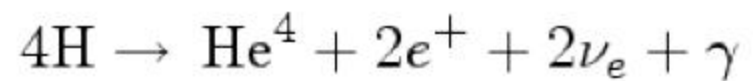
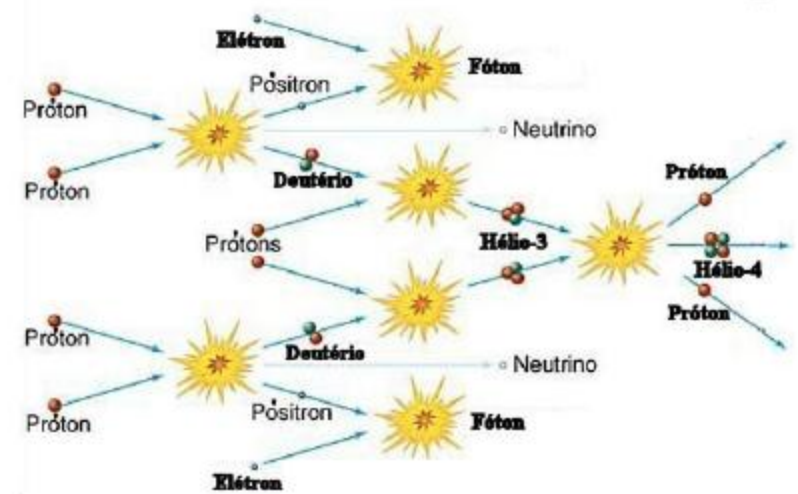
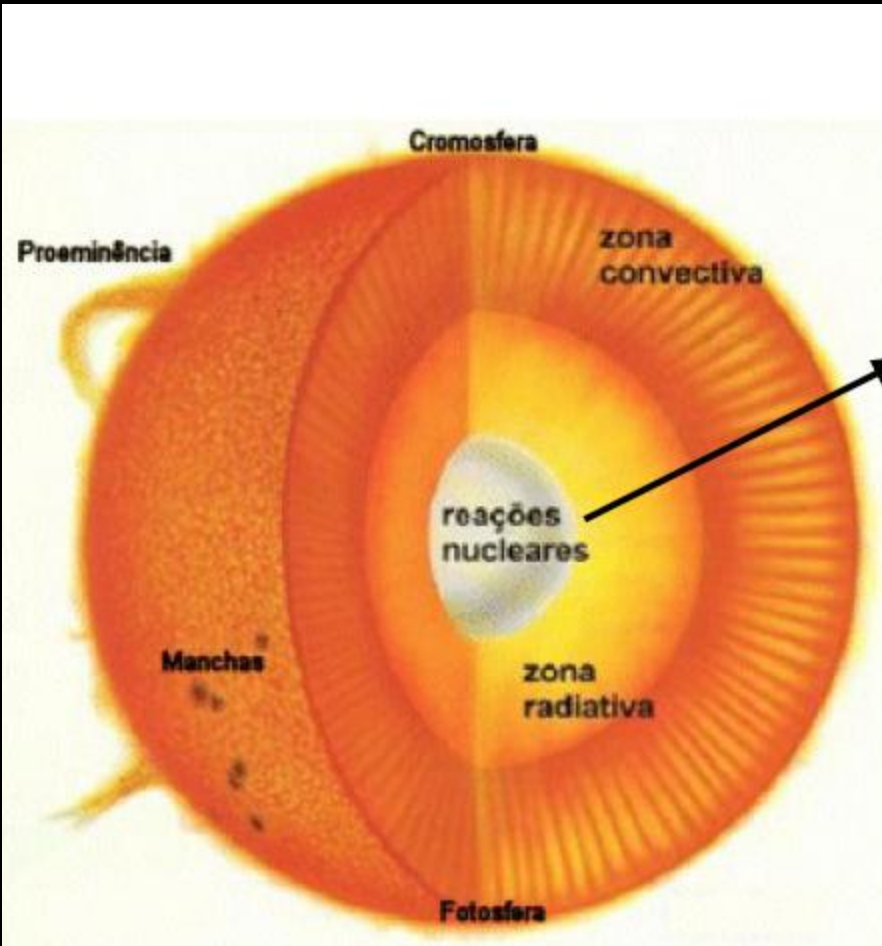


NRAD RADIO
CONTINUUM



NRAD RADIO
(21-CM)

Fonte de Energia das estrelas



Porque BN's são necessários?

- Quasares emitem 3.3×10^{46} ergs s^{-1}
- Em 10^8 anos: 10^{62} ergs
- Será a energia nuclear, como nas estrelas?

Optical and Radio Views
of Radio Galaxy 3C219
Montage (c) NRAO 1994

A Energia dos AGNs

Energia nuclear $E_N = 0.007mc^2 = 6.3 \times 10^{18}$ ergs para $m=1\text{g}$;

- numa estrela, fusão nuclear ocorre com 10% da massa;

10^{62} ergs = 6.3×10^{18} ergs/g $\times 0.1 \times 2 \times 10^{33}$ g/estrela $\times 10^{11}$ estrelas (~M da Via Láctea)

Porque BN's são necessários?

- Quasares emitem 3.3×10^{46} ergs s^{-1}
- Em 10^8 anos: 10^{62} ergs = **10^{11} SN's (energia nuclear)**
- Precisaríamos a energia da explosão de todas as estrelas de uma galáxia como supernovas
- **isto não se observa!**

Optical and Radio Views
of Radio Galaxy 3C219
Montage (c) NRAO 1994

A Energia dos AGNs

Energia nuclear $E_N = 0.007mc^2 = 6.3 \times 10^{18}$ ergs para $m=1g$;

- numa estrela, fusão nuclear ocorre com 10% da massa;

10^{62} ergs = 6.3×10^{18} ergs/g $\times 0.1 \times 2 \times 10^{55}$ g/estrela $\times 10^{11}$ estrelas (~M da Via Láctea)

Energia gravitacional $E_G = GMm/R$; para $m=1g$:

E_G (Sol) = 2×10^{15} ergs; E_G (Anã branca) = 10^{17} ergs;

Mas para objetos compactos (Estrela de nêutrons ou BN):

E_G (BN) = 10^{20} ergs/g;

10^{62} ergs = 10^{20} ergs/g $\times 2 \times 10^{33}$ g/estrela $\times 5 \times 10^8$ estrelas

A Energia dos AGNs

A energia dos AGNs vem da acrecção de matéria ao Buraco Negro central: transformação de energia potencial gravitacional em energia radiativa + cinética dos jatos

A acreção se dá através de um “disco de acreção”, que se forma para conservação do momentum angular

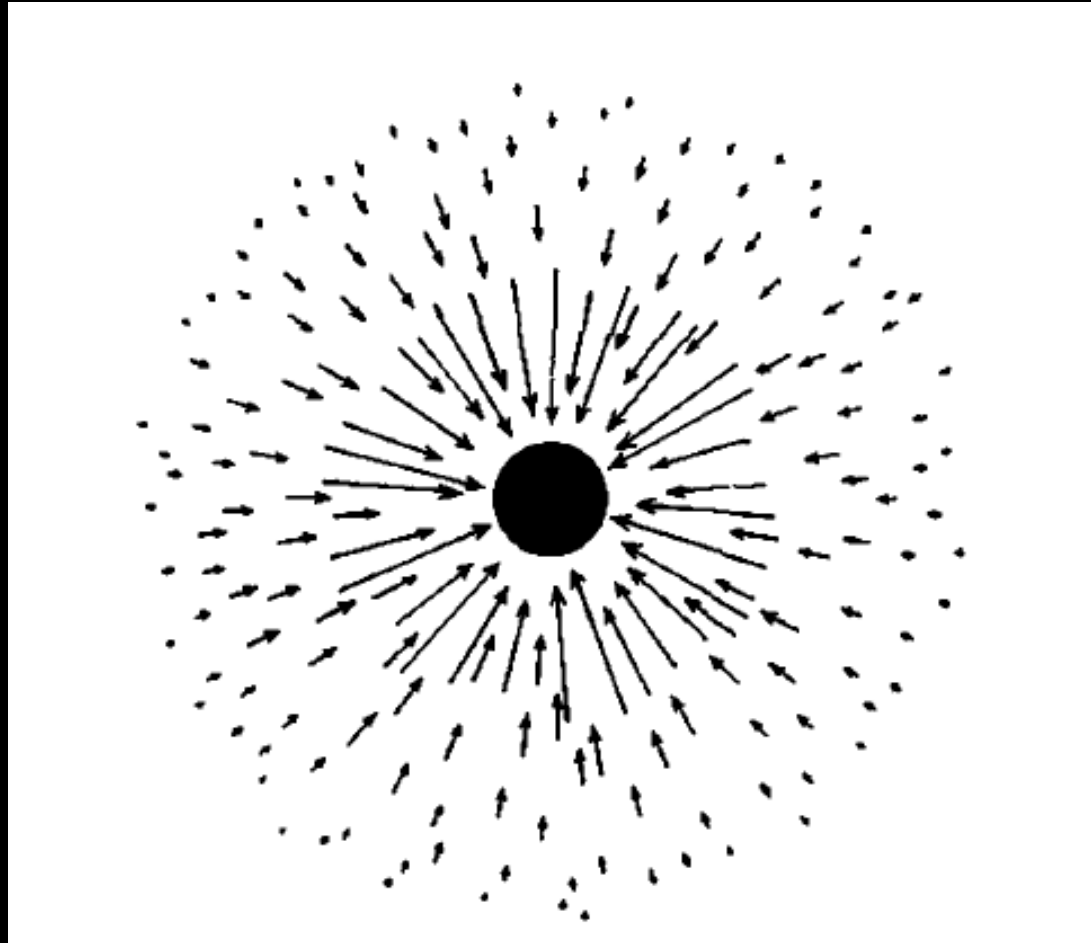
Calculando a Massa dos BN's

•Se há um BN no centro de uma galáxia, uma massa m (estrelas ou gás) obedece ao Teorema do Virial:

$$2T + U = 0 \Rightarrow mv^2 = \frac{GMm}{2R} \Rightarrow M = \frac{2Rv^2}{G}$$

onde M =massa do BN; v =velocidade da massa m ; R =raio da órbita da partícula.

Procurando BN's em galáxias



A gravidade do BN atrai partículas de gás e poeira a sua volta

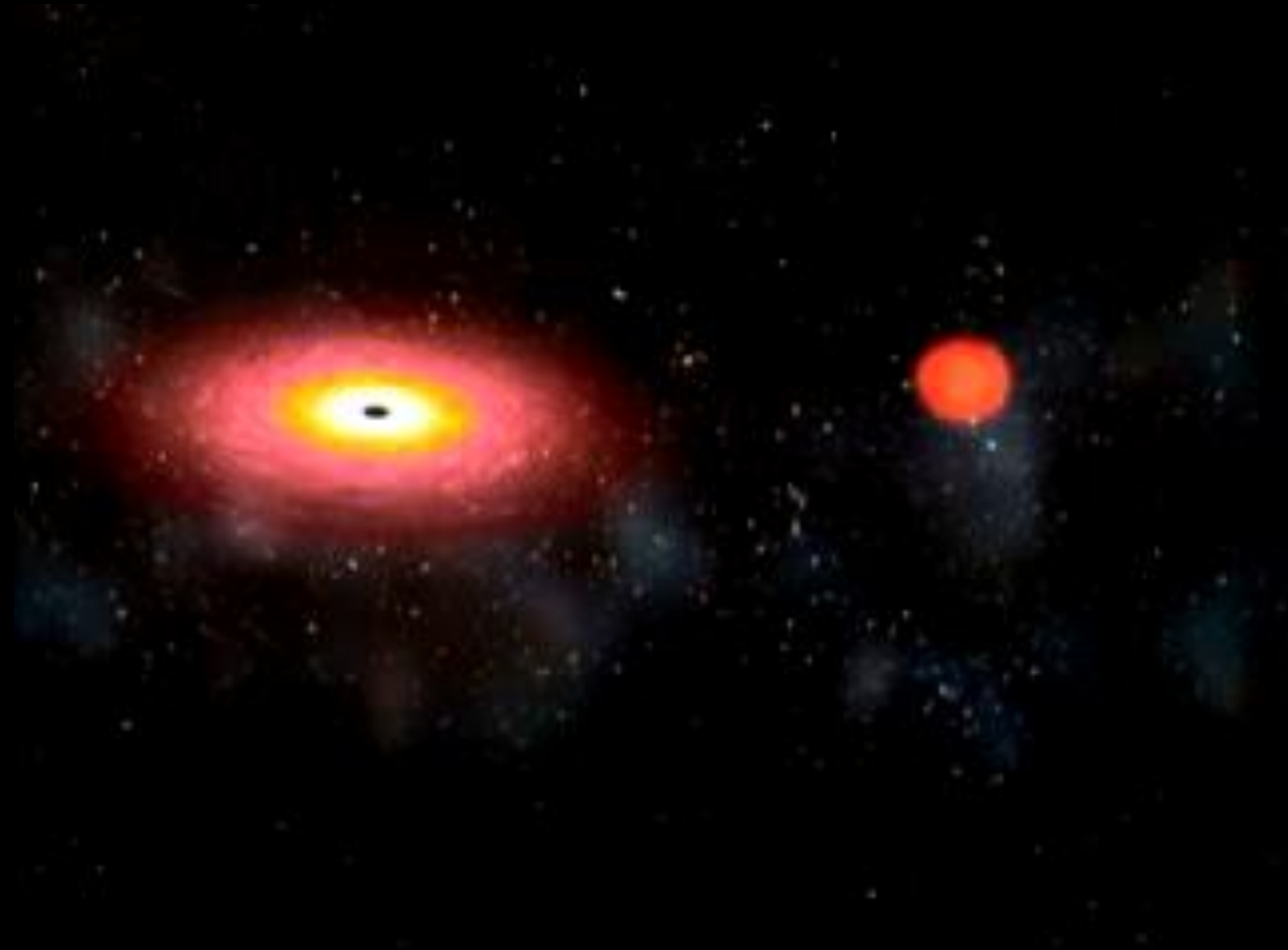
“Dieta” do Buraco Negro

“Dieta”: Hidrogênio,
Hélio e poeira cósmica

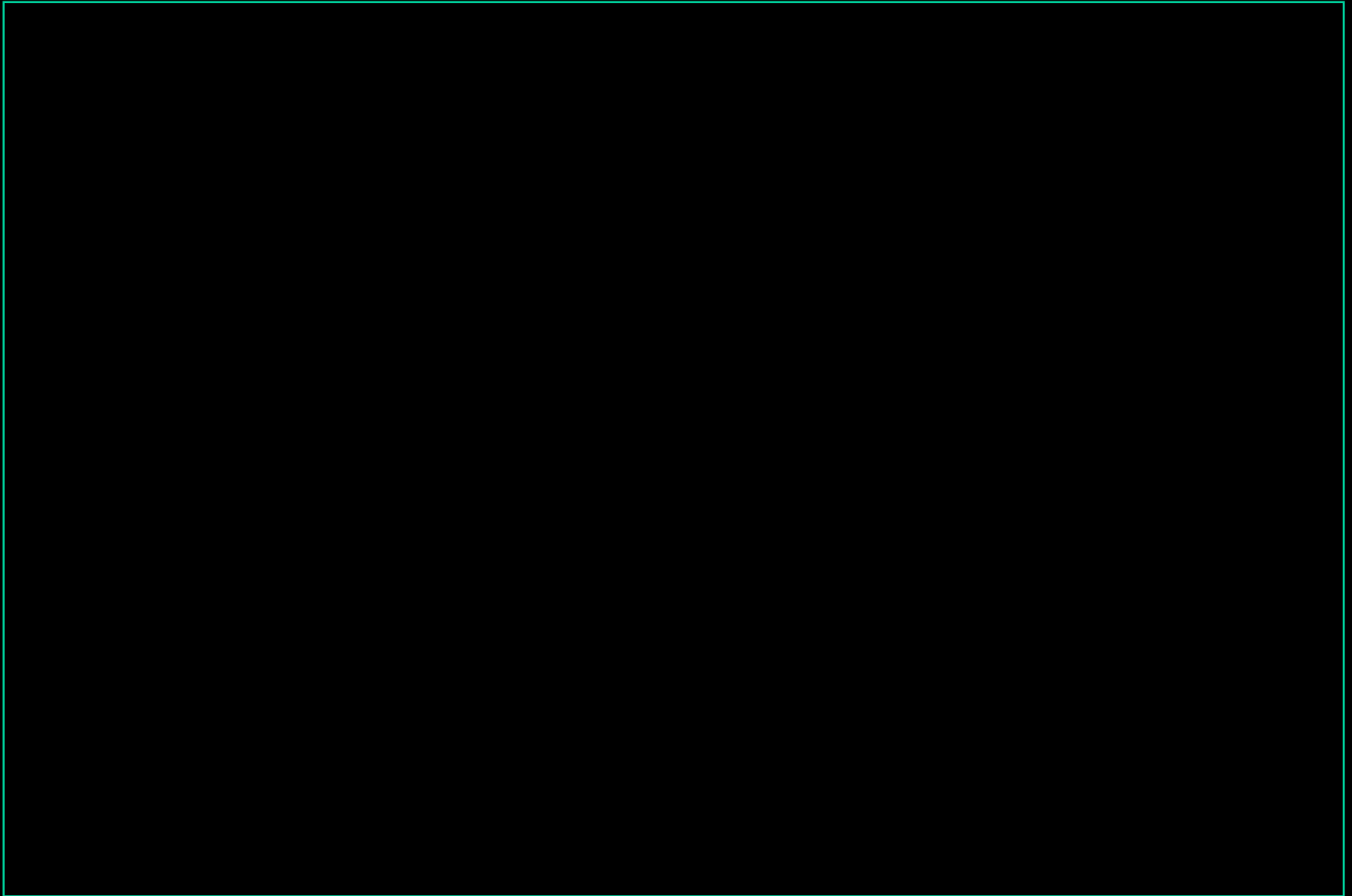
RADIAÇÃO

A diagram of a black hole accretion disk. The central black hole is surrounded by a glowing accretion disk with concentric rings of light, transitioning from yellow and orange near the center to red and purple further out. Two large red arrows point away from the inner disk, labeled 'RADIAÇÃO' (Radiation). The background is a dark space filled with numerous small white stars.

Buraco negro “devorando” uma estrela de neutrons



Flares– Sagittarius A



Procurando BN's no universo



Captura de gás ejetado de estrelas em sistemas binários



Engolindo estrelas inteiras



Gás proveniente da galáxia

Procurando BN's em galáxias

• **Raio de influência do BN:**

$$R = \frac{GM}{\sigma^2}$$

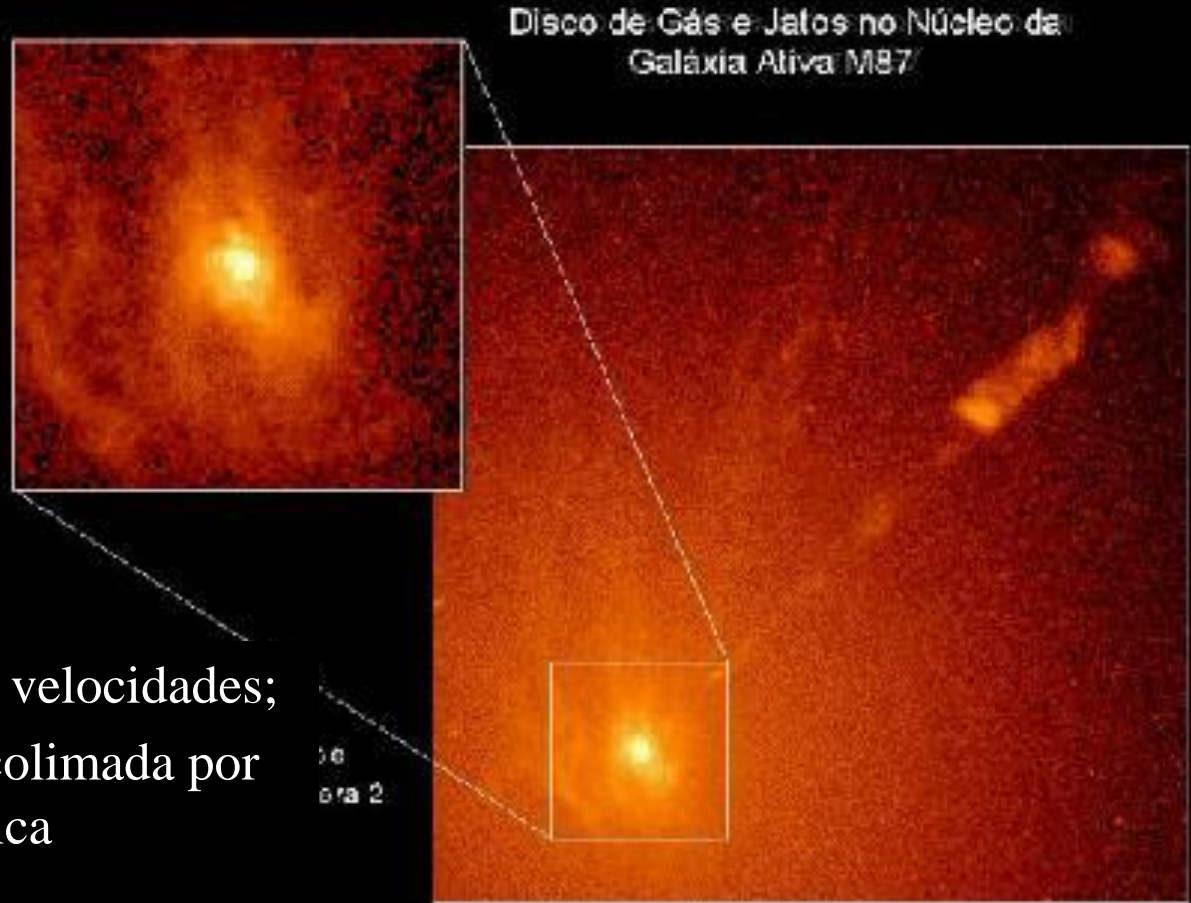
onde σ =dispersão de velocidades das estrelas na galáxia $\cong 200$ km/s

Para $M=10^8 M_\odot$, $R \cong 10$ pc=33 anos-luz na galáxia.

• **Galáxias mais próximas: 2-4 Mpc (6-12 milhões de a.-l.) \Rightarrow 33 a.l.
~ 1 segundo de arco (difícil antes da década de 90);**

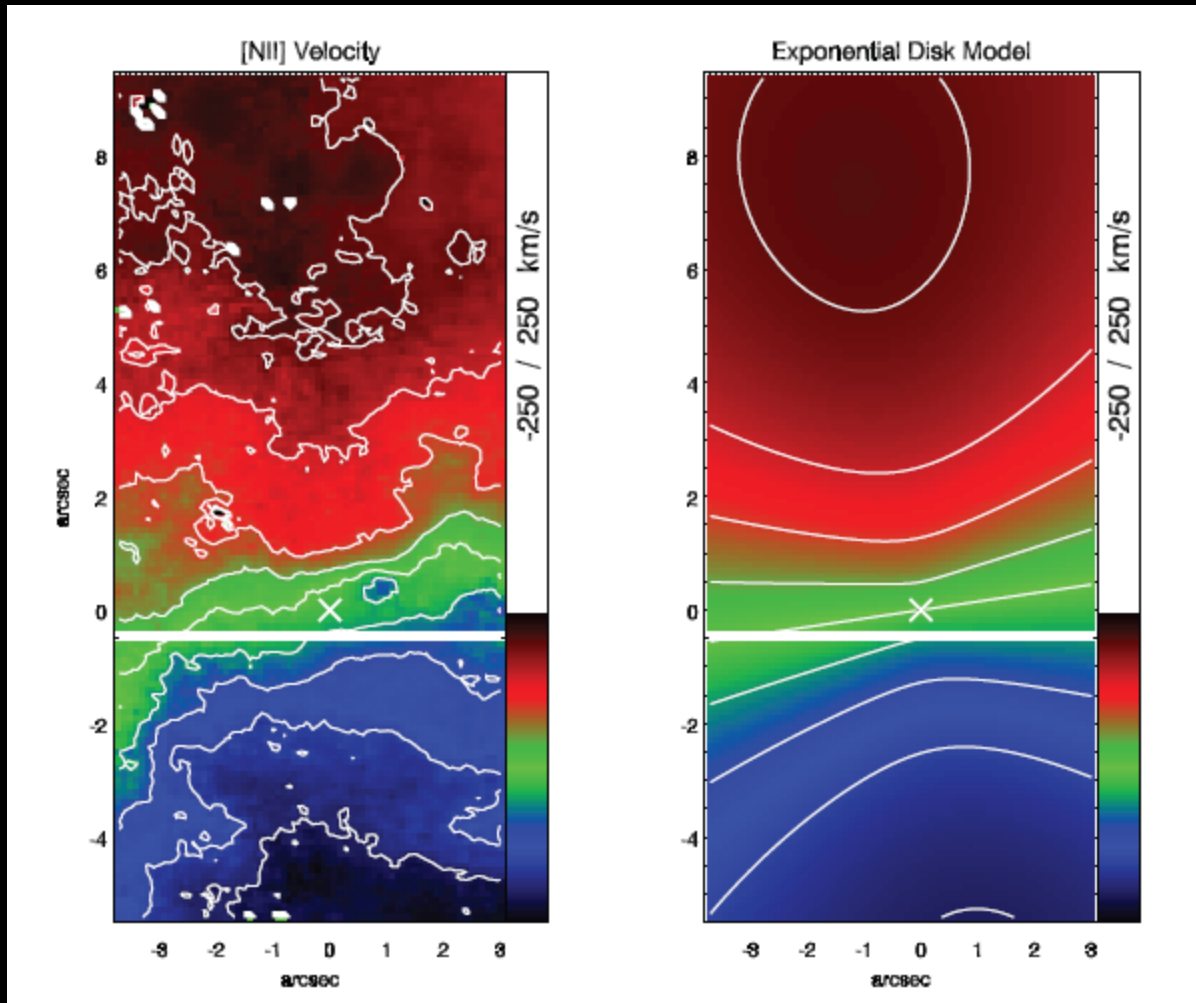
• **Telescópio Espacial Hubble (HST): tornou possível resolver raio de influência do BN ('resolução angular de 0.1');**

Evidências Observacionais de BNs supermassivos em galáxias ativas



- Discos de gás girando a altas velocidades;
- Geração de jatos e radiação colimada por estrutura com simetria cilíndrica
- Energia emitida

Evidências Observacionais de BNs supermassivos em galáxias ativas



Movimentos extremos em direção ao centro de NGC 1097

Fathi et al., 2006 (Rogemar e Thaisa)

Buracos negros no núcleo de todas as galáxias?

Ferrarese & Merrit (2000) e Gebhardt et al. (2000) sugerem que massa do BN é proporcional à massa do bojo;

Sempre que há bojo há BN?

Parece que sim, inclusive na Via-Láctea !

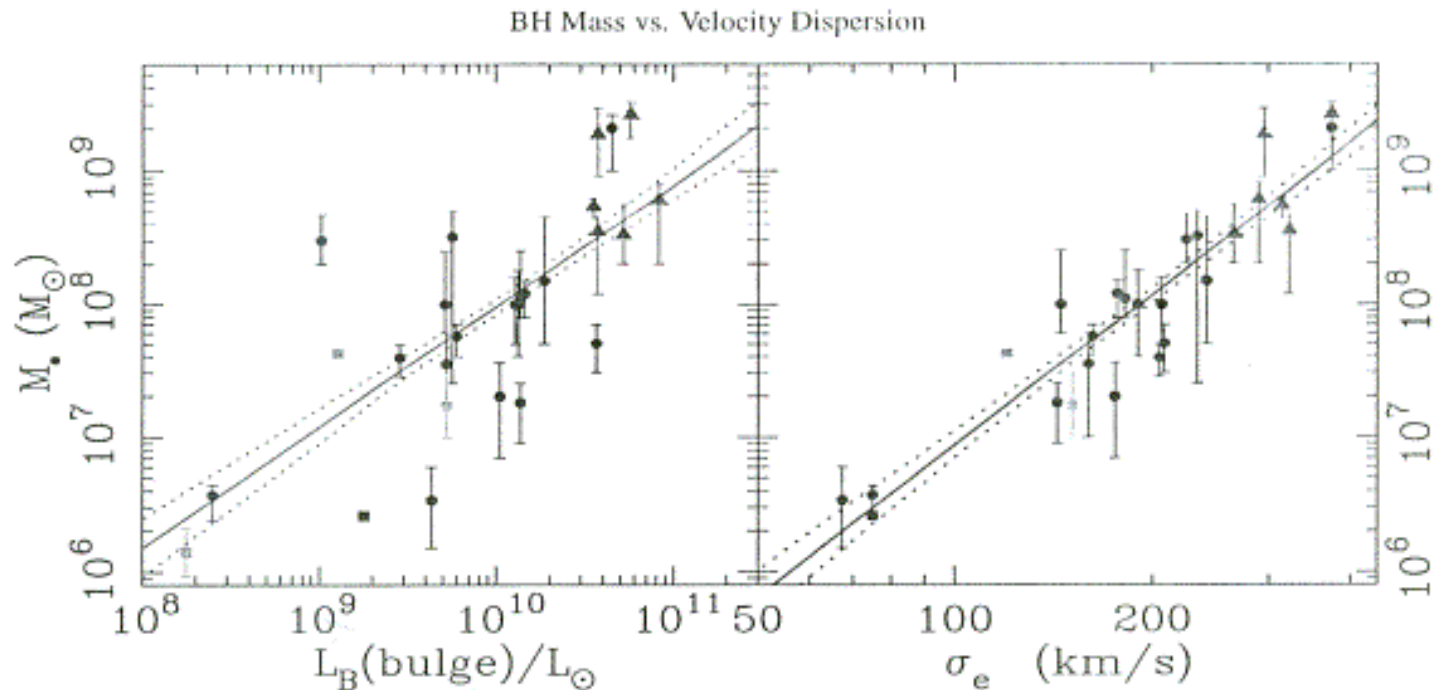
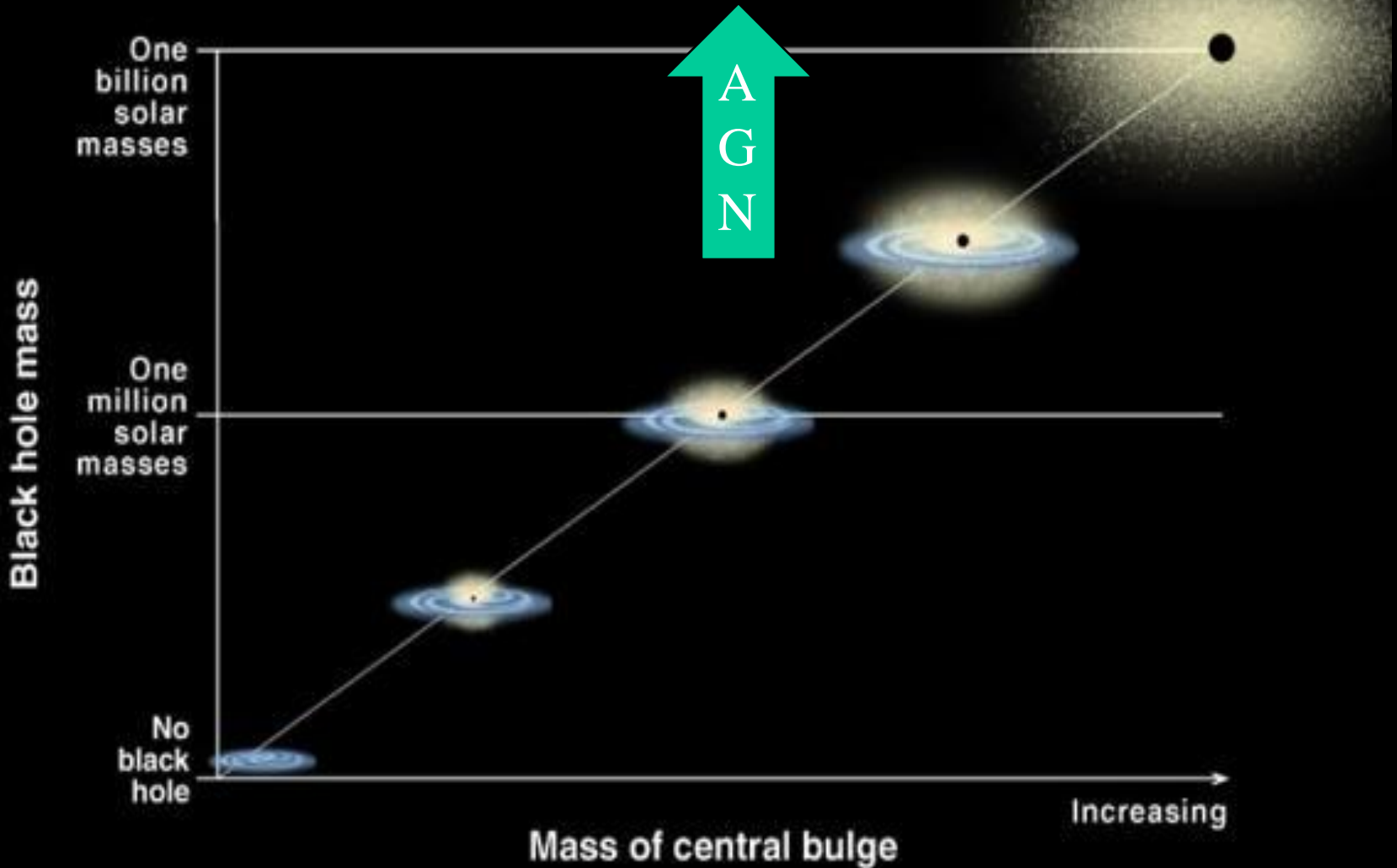


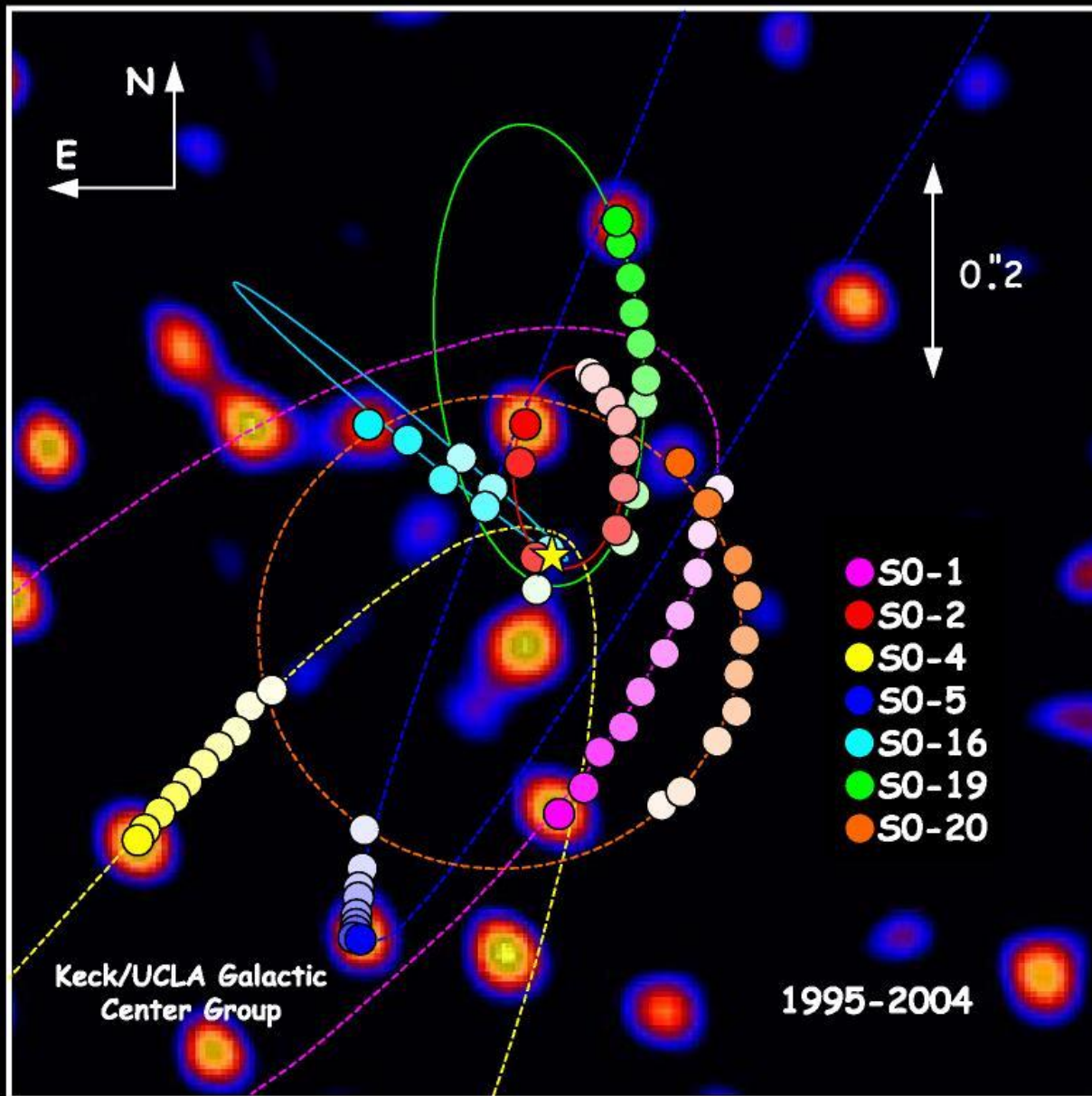
FIG. 2.— Black hole mass versus bulge luminosity (left panel) and the luminosity-weighted aperture dispersion within the effective radius (right panel). There are 26 points in the dispersion plot; 13 are new detections from stellar kinematics (Gebhardt *et al.* 2000b, Bower *et al.* 2000). Green squares denote galaxies with maser detections, red triangles come from gas kinematics, and blue circles are from stellar kinematics. Solid and dotted lines are the best-fit correlations and their 68% confidence bands.

Buracos negros no núcleo de todas as galáxias?

Correlation Between Black Hole Mass and Bulge Mass



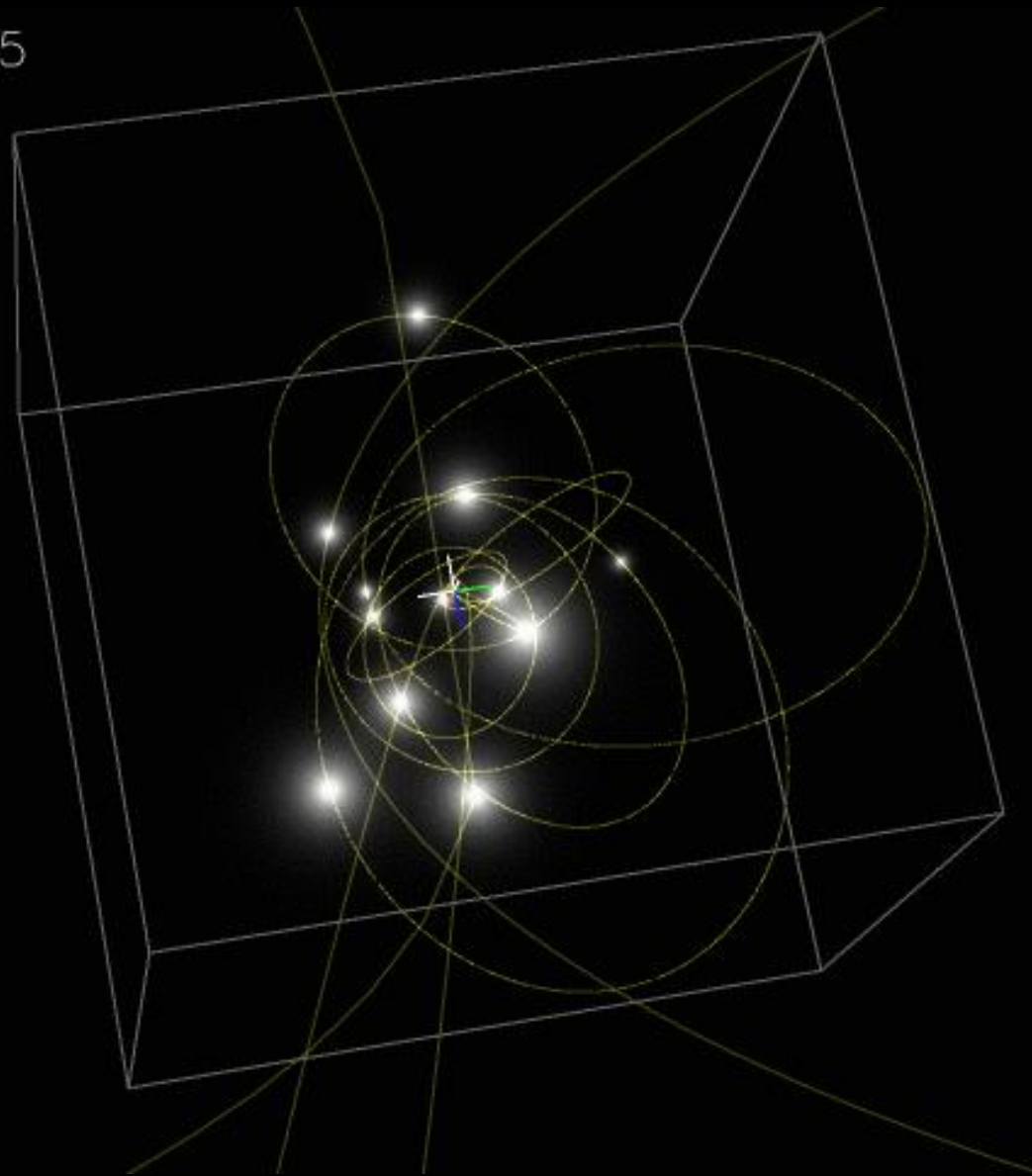
Sagitários A – BN no centro da Via Láctea



BN de 3.6 Milhões de Massas Solares

Sagitários A – BN no centro da Via Láctea

Year: 1995.5



Considerações Finais:

A energia observada nas galáxias ativas possivelmente não seja devido a processos nucleares (como nas estrelas);

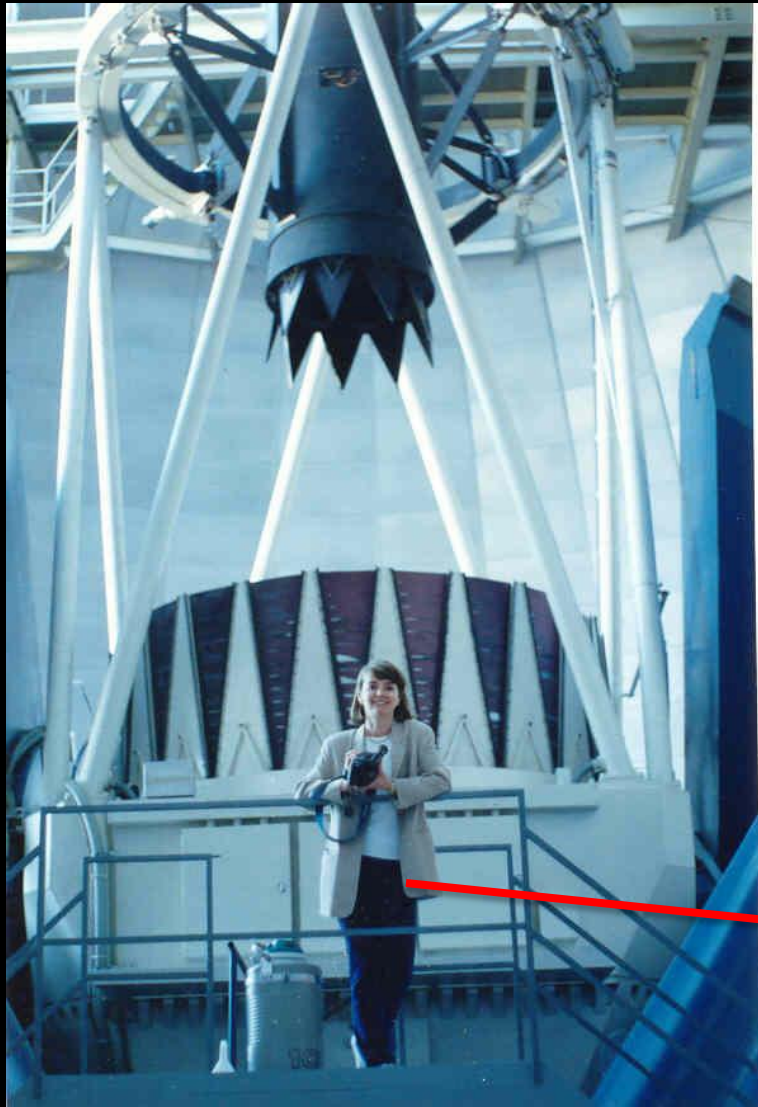
Evidências observacionais indicam que a fonte de energia das galáxias ativas está associada a acreção de matéria por um buraco negro central.

**Instrumentos necessários para estudar estes
objetos**

Telescópio SOAR



CTIO 4m

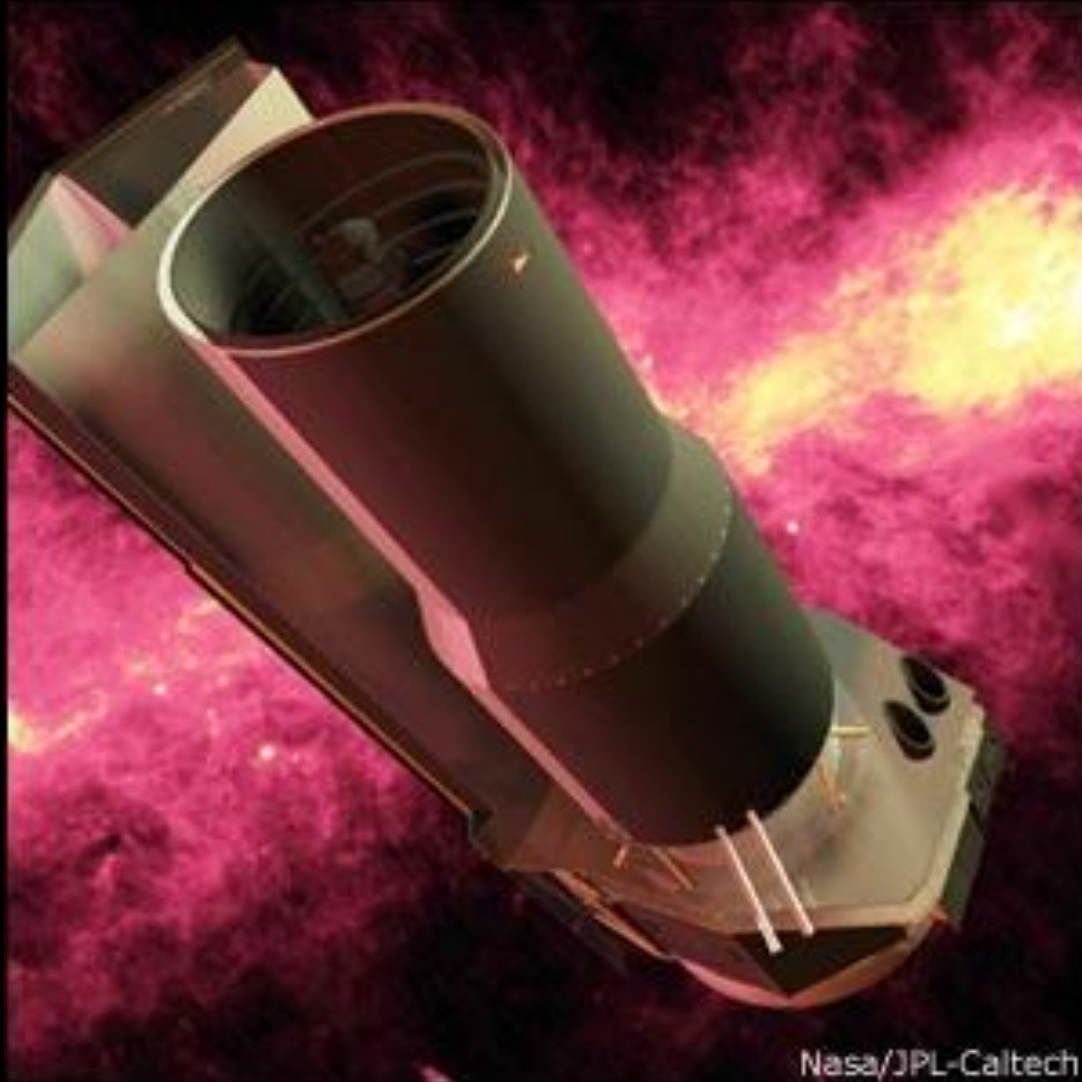


Gemini 8m



Thaisa Storchi Bergmann

SPITZER



Nasa/JPL-Caltech

Telescópio Espacial Hubble:



Futuro: Novo Telescópio Espacial: James Webb Space Telescope

Espelho de 6m e blindagem do Sol; órbita no ponto de Lagrange L2

