

Galáxias peculiares
Quasares
Radiogaláxias
Núcleos ativos
Buracos negros supermassivos
Colisões de galáxias
Colisão da Via Láctea com M31

Galáxias peculiares: núcleos ativos e colisões de galáxias

Gastão B. Lima Neto
IAG/USP

edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=110630

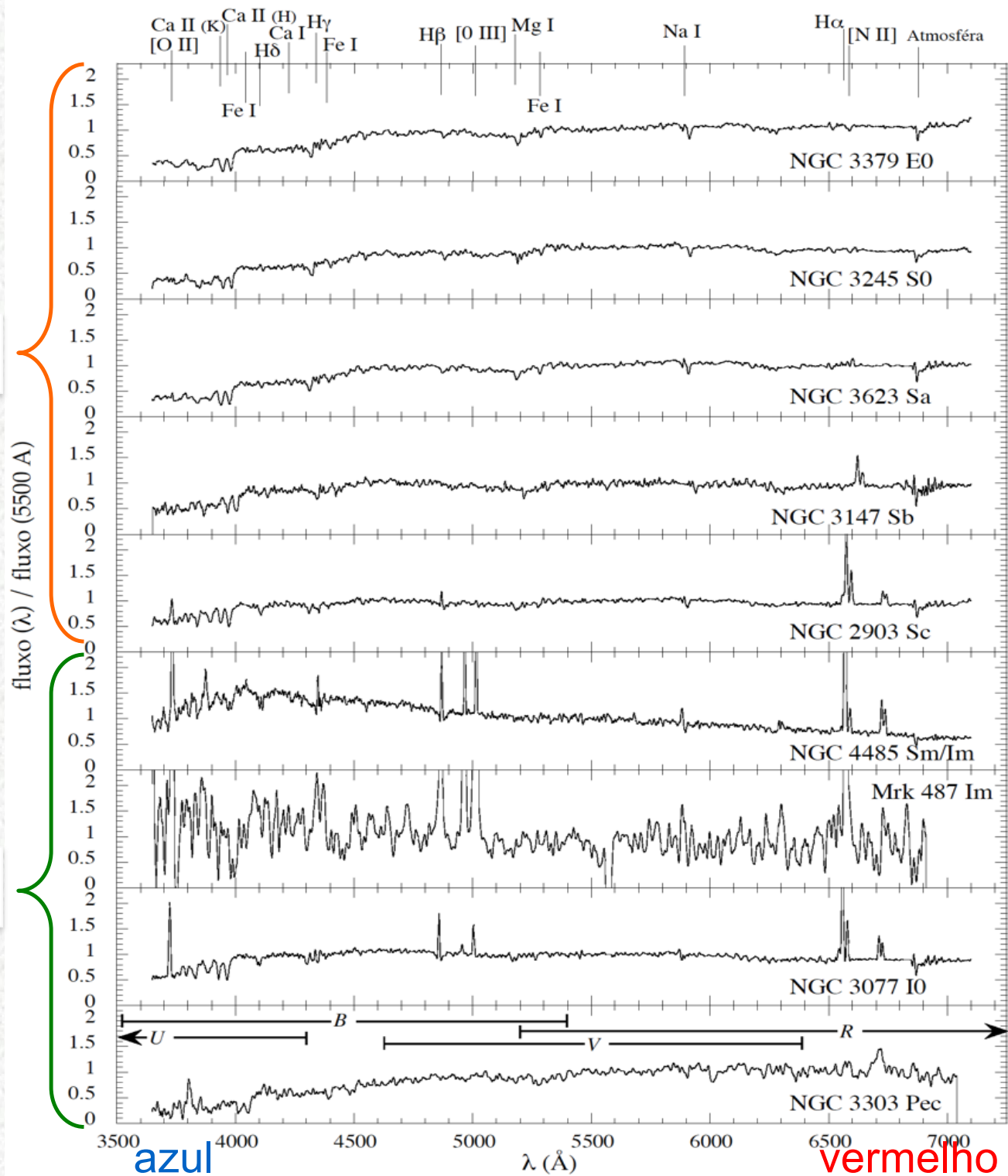
Galáxias normais e peculiares

normais

- Peculiaridade do ponto de vista **espectroscópico.**

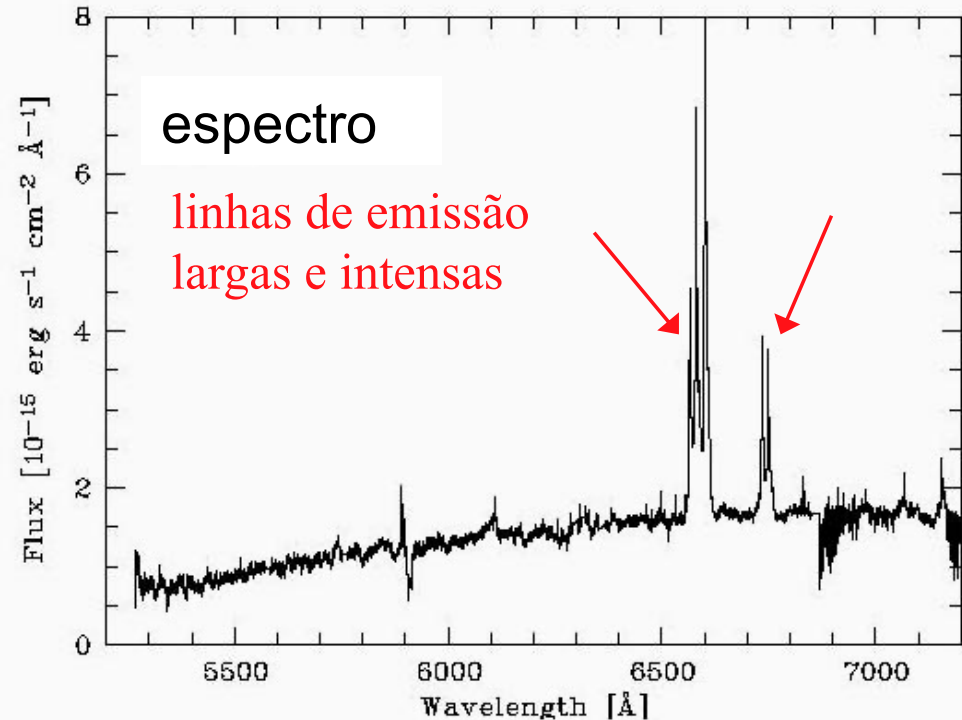
- linhas de emissão largas e intensas.
- Contínuo no azul mais forte que no vermelho.

peculiares

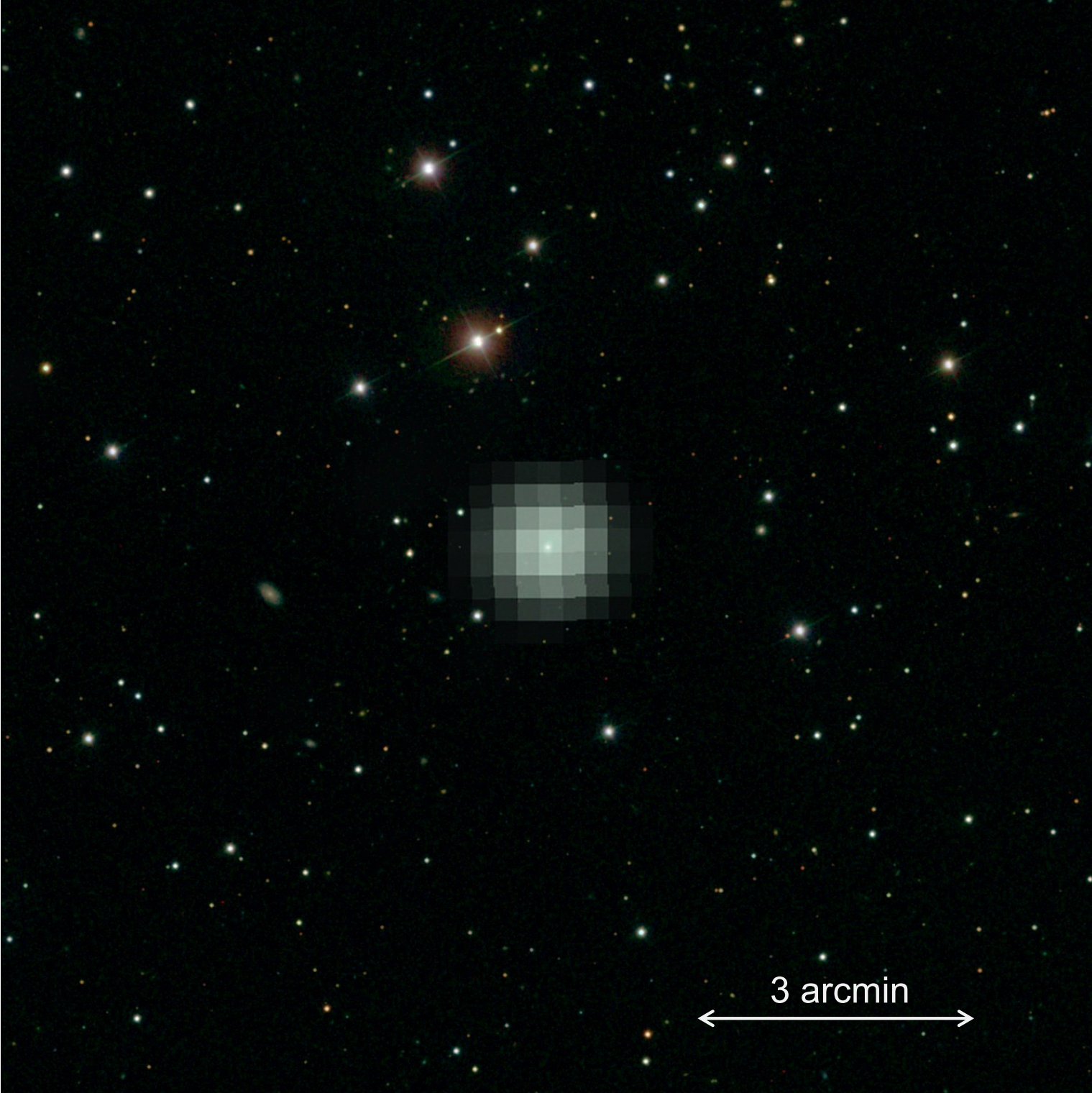


Aparência normal, espectro peculiar

(mas a aparência também pode ser peculiar)



- Mesmo com espectro peculiar, a galáxia pode apresentar uma morfologia normal.
 - apenas o núcleo é mais brilhante que o normal.



Exemplo de uma
galáxia com
núcleo ativo

imagem visível

imagem rádio

imagem
visível+rádio

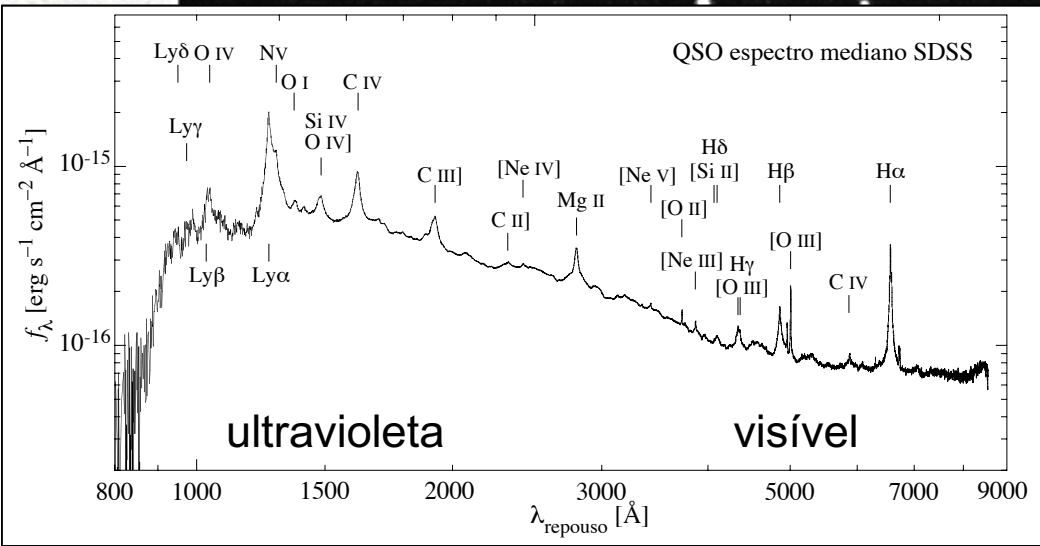
3 arcmin
←→

Quasar ou QSO

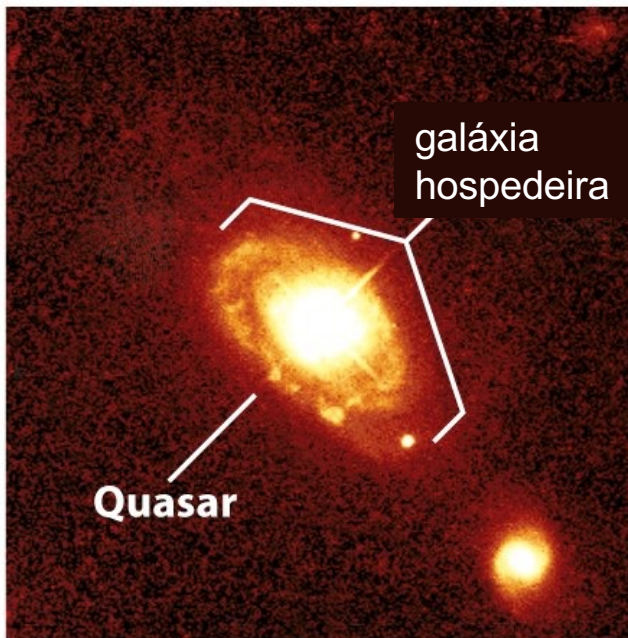
fonte puntiforme rádio:
inicialmente chamada de
“rádio estrelas”



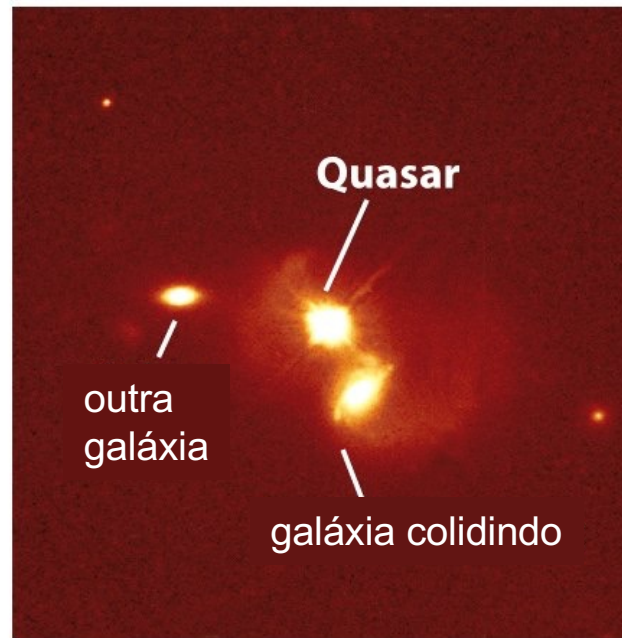
- Aparência estelar. Também chamamos QSO (*Quasi-Stellar Object*).
- Foram inicialmente descobertos pela emissão em ondas de rádio.
- Hoje sabemos que a maioria (90%) é “rádio-silencioso”.
- Também são fontes luminosas no infravermelho, ultravioleta e raios-X e raios-gama.
- Linhas de emissão largas e intensas, contínuo aumenta para o azul/ultravioleta.
- **Distante, portanto muito energético.**



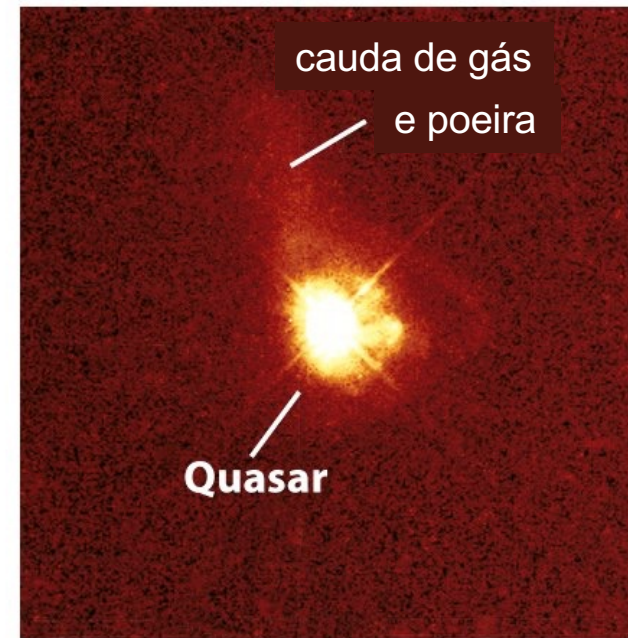
Quasar ou QSO



(a)



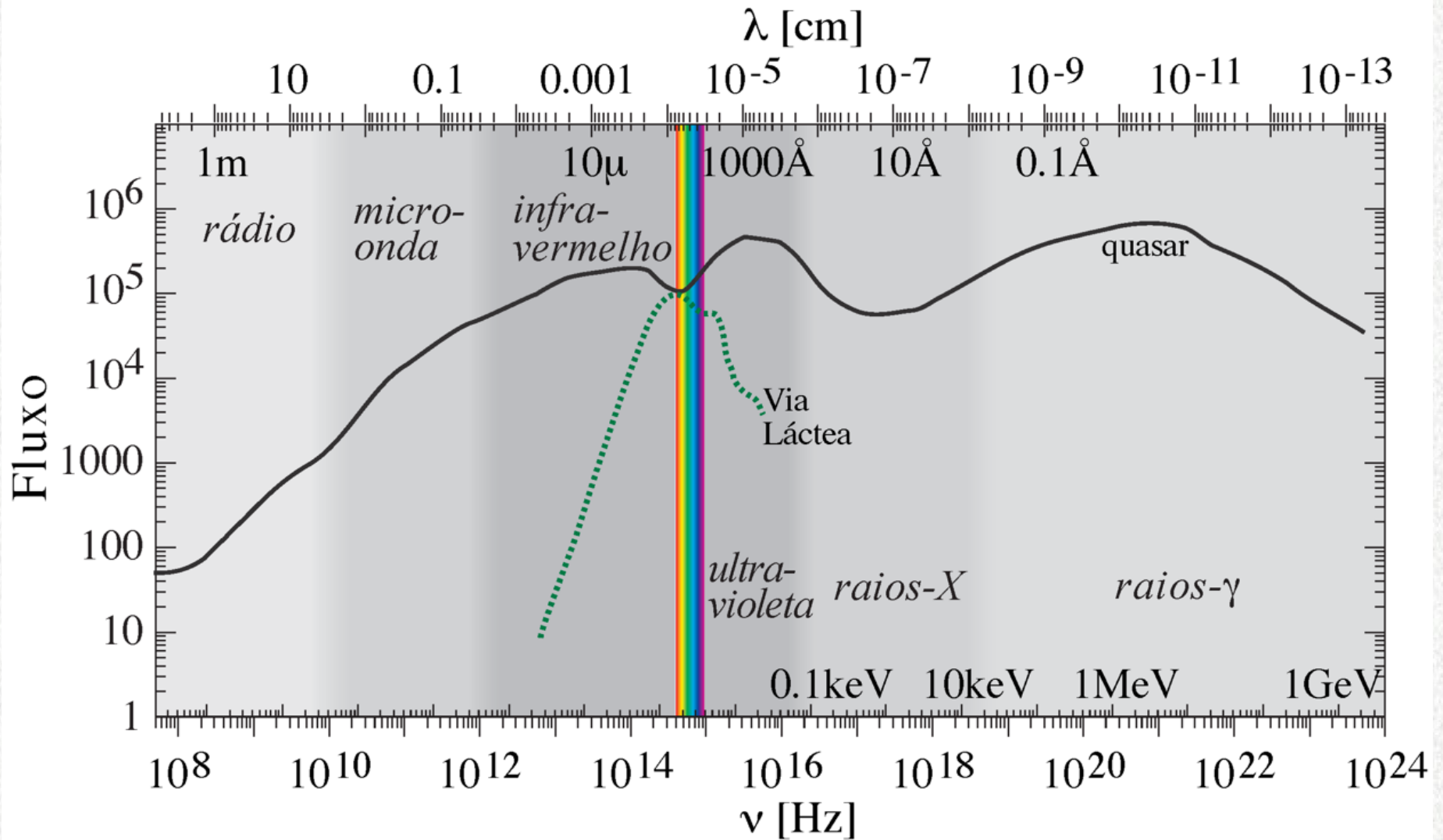
(b)



(c)

- Natureza dos Quasares muito discutida até as primeiras imagens do telescópio espacial Hubble a partir de 1994.
- Apenas com ótima qualidade de imagem podemos distinguir a galáxia que hospeda o núcleo ativo (isto é, um Quasar).
- A luminosidade do núcleo é maior ou igual que todo o resto da galáxia: a galáxia fica ofuscada.

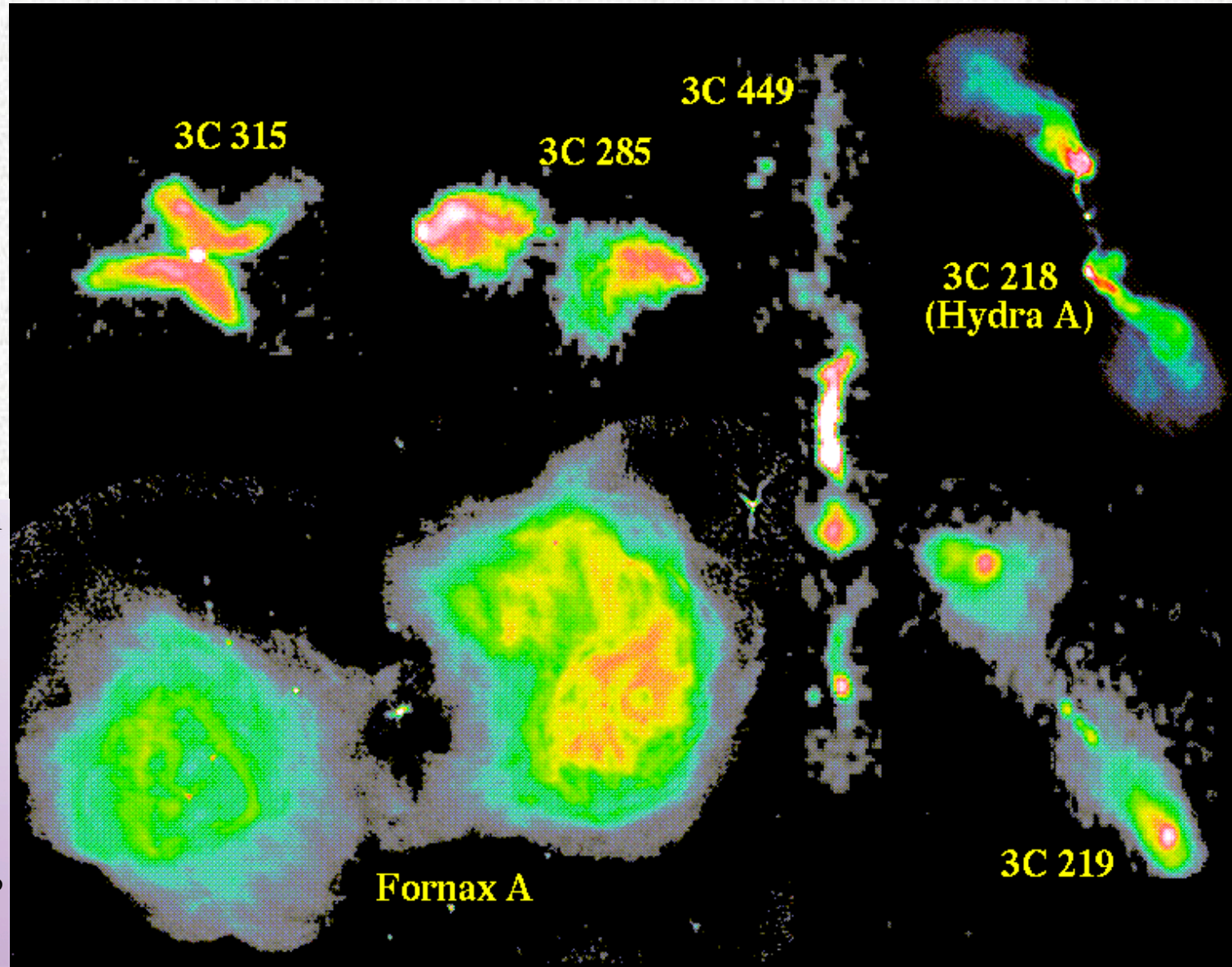
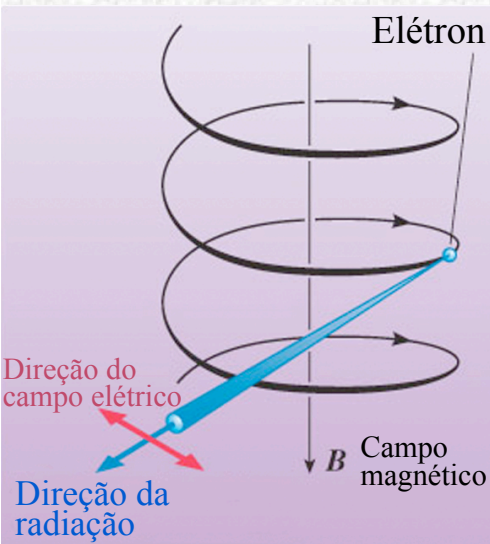
Espectro eletromagnético



- Comparação entre a **distribuição de energia** em função do comprimento de onda ou frequência de um Quasar e da Via Láctea.
- Não é apenas na luz visível que os Quasares são brilhantes, eles brilham mais no Infravermelho, Ultravioleta e Raios-gama.

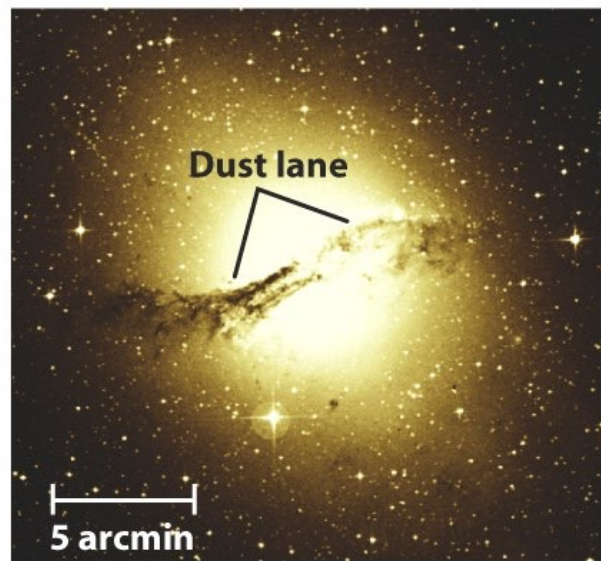
Radiogaláxias

- Estão associadas às galáxias elípticas gigantes.
- A emissão rádio apresenta diversas morfologias.
- Fonte de energia está no núcleo.
- Emissão por mecanismo **Síncrotron**.

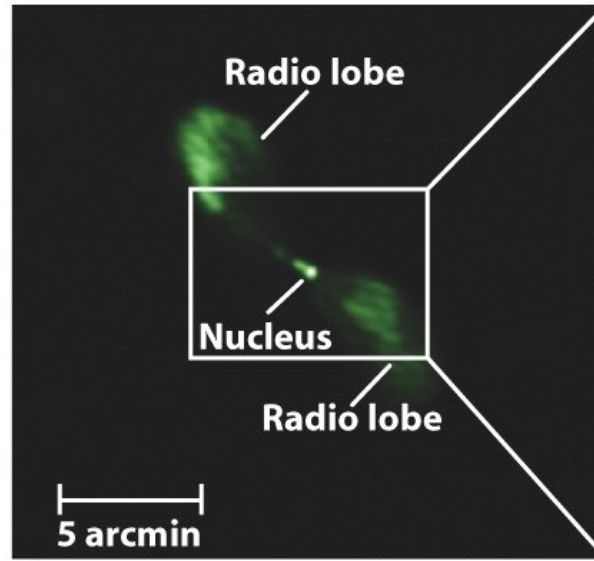


Radiogaláxias

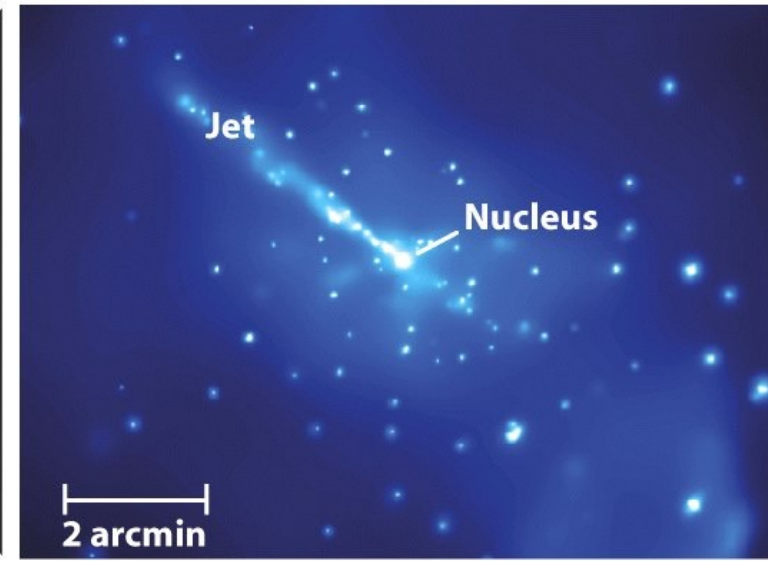
- Exemplo: Centauro A, galáxia elíptica a 4 Mpc.
- No visível, parece uma elíptica com uma peculiaridade: muita poeira.



(a) Centaurus A: light from stars



(b) Centaurus A: radio lobes

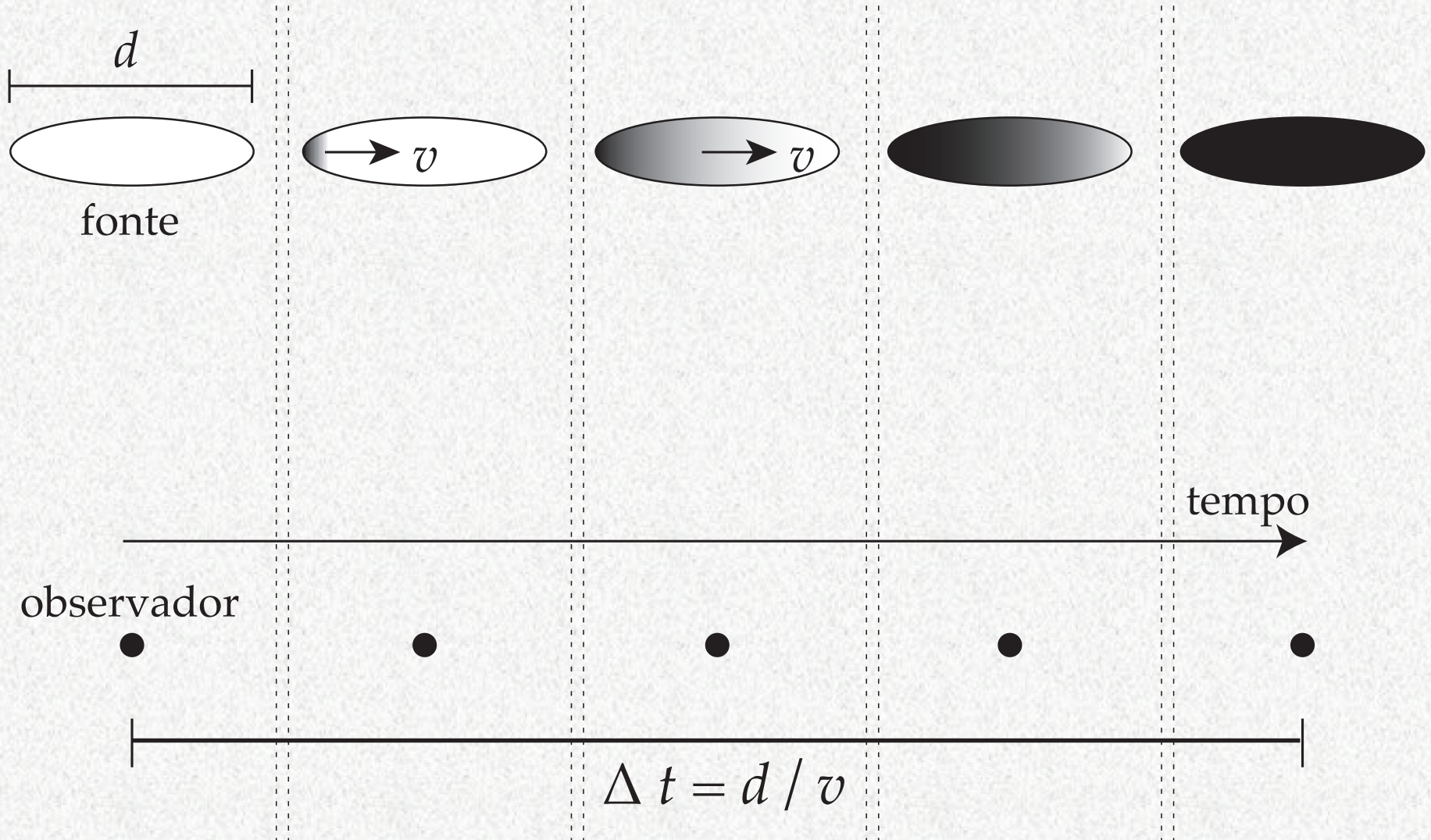


(c) An X-ray-emitting jet emanates from the nucleus

- Em rádio e raios-X há um jato que vem do núcleo.
- Estes jatos observados em rádio e raios-X indicam processos muito energéticos.

O motor dos núcleos ativos

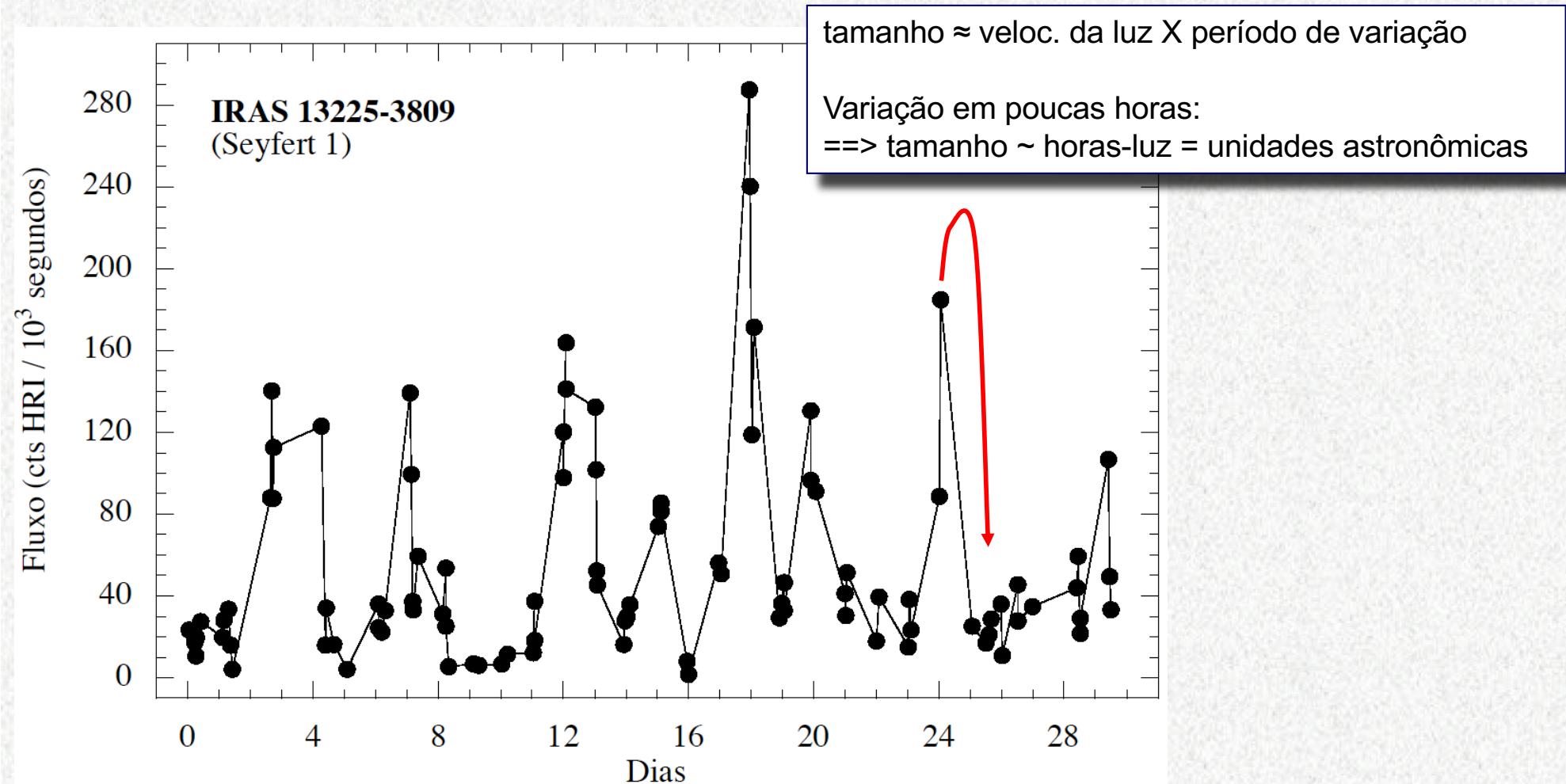
- Núcleos ativos apresentam **variabilidade** na luminosidade.
 - período da variação → dimensão da fonte.



Portanto: tamanho \approx velocidade X período de variação

O motor dos núcleos ativos

- Núcleos ativos apresentam **variabilidade** na luminosidade.
 - período da variação → dimensão da fonte.
- Variação de horas corresponde a uma fonte do **tamanho do sistema solar!**



O motor dos núcleos ativos

- Luminosidade de Quasares está entre 10^{10} a 10^{13} luminosidades solares.
- Esta energia é produzida em um volume menor do que o sistema solar.

O motor dos núcleos ativos

- Luminosidade de Quasares está entre 10^{10} a 10^{13} luminosidades solares.
- Esta energia é produzida em um volume menor do que o sistema solar.

- Queda de matéria em um buraco negro supermassivo.

- A acreção de 1 massa solar/ano gera 10^{39} Watt ($\sim 10^{12}$ luminosidades solares).
 - A luminosidade total da Galáxia é $\sim 3,5 \times 10^{10} L_{\odot}$.

A fonte é a **energia potencial gravitacional** da matéria que cai no buraco negro.

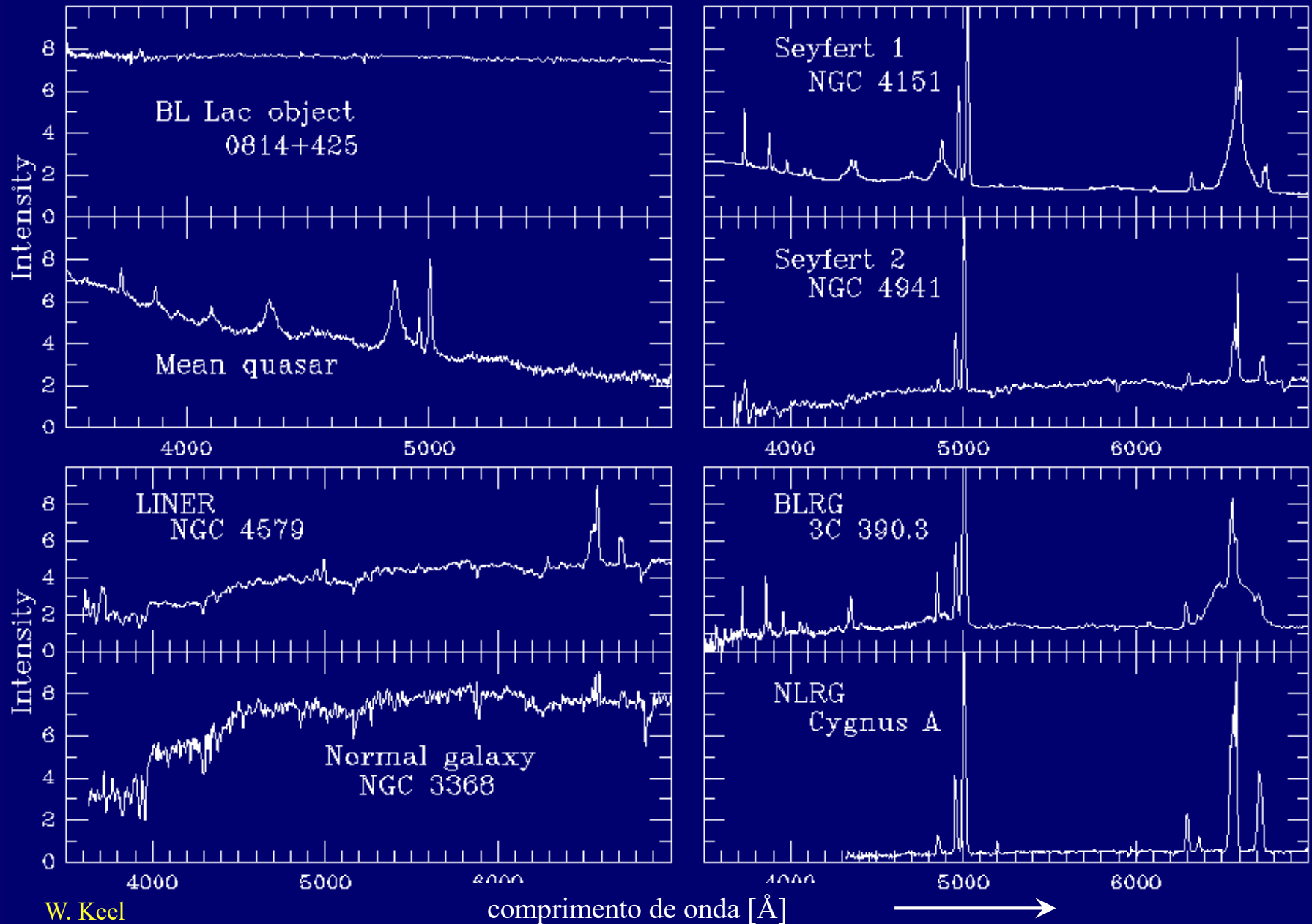
Muito mais eficiente que reações nucleares.



Teoria unificada de núcleos ativos

- As galáxias de núcleos ativos aparecem de modos diferentes para nós, observadores:
 - Quasares, QSOs, radio-galáxias, Seyferts, LINERs, BL Lac, Blazares, etc.
 - **Seyferts** (tipos I e II) são quasares de baixa luminosidade;
 - **Blazares** são QSOs que apresentam grande variabilidade do contínuo.
 - **LINERs** (Low Ionization Nuclear Emission-line Region) são núcleos ativos de baixa energia.
 - **BL Lac**, inicialmente classificada como uma estrela peculiar, é um QSO com emissão contínua muito forte.
- Toda esta fauna é a manifestação do **mesmo fenômeno**.
- O chamado **Modelo Unificado** de núcleos ativos de galáxias foi proposto na década de 1980.
- No coração desse modelo está o motor que produz a energia observada dos núcleos ativos, isto é, matéria caindo no buraco negro.

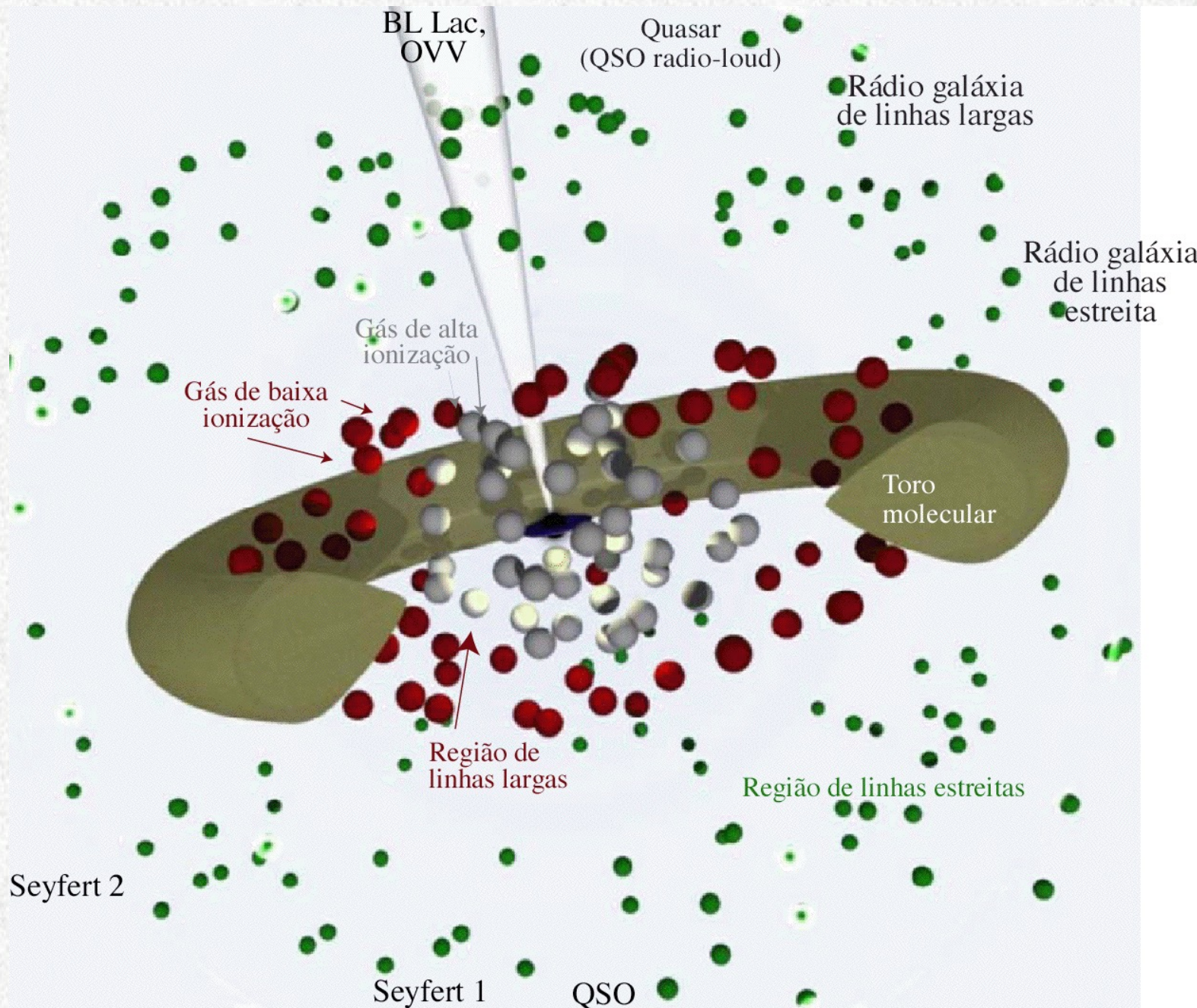
Fauna de galáxias ativas



- Classificação pela aparência do espectro visível.

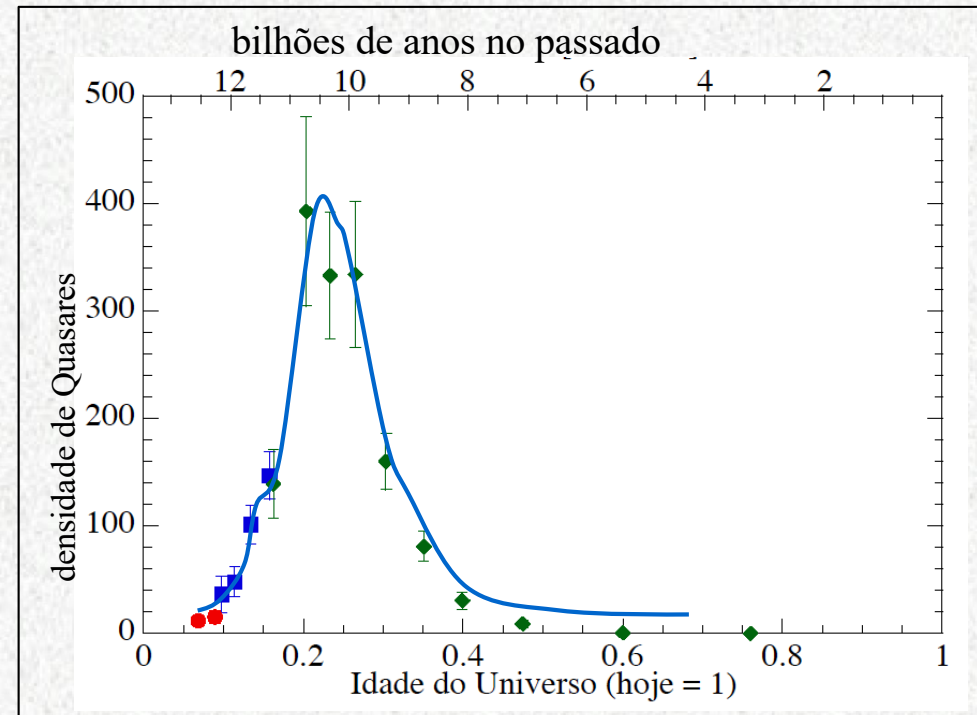
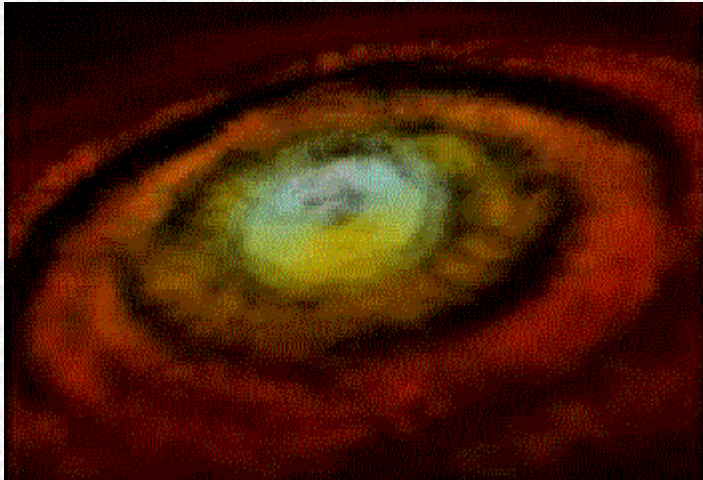
Teoria unificada de núcleos ativos

- Duas propriedades:
 - luminosidade intrínseca
 - ângulo de observação
- Dependência da posição relativa do objeto em relação ao observador.
- Dependência da taxa de queda de matéria no buraco negro supermassivo central.



Teoria unificada de núcleos ativos

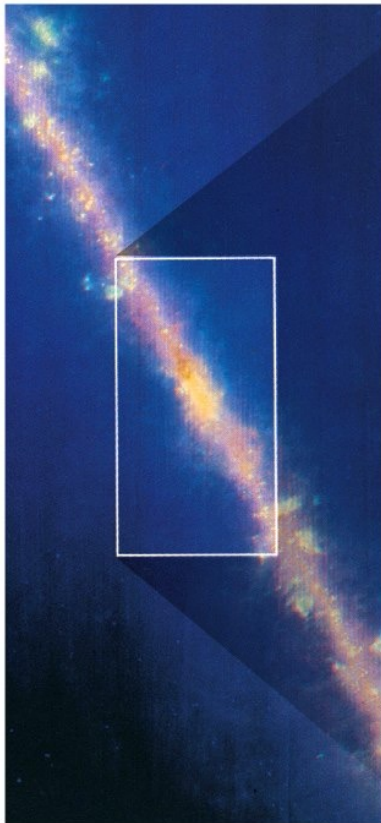
- Com o tempo, esgota-se o combustível do núcleo ativo.
 - A galáxia deixa de ter um Quasar no núcleo.



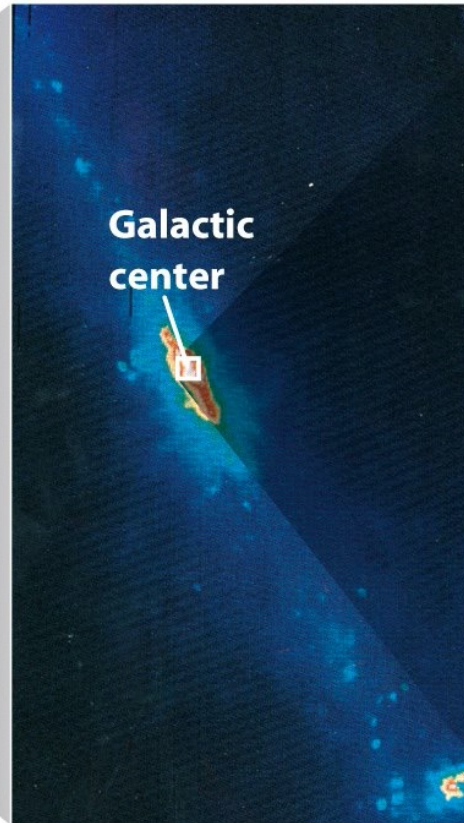
- Uma galáxia pode voltar a ter um núcleo ativo quando “canibaliza” uma outra rica em gás.
- Toda galáxia com componente esferoidal tem um buraco negro supermassivo (até agora não conhecemos exceção).
- Na Via Láctea há um buraco negro supermassivo no centro.
 - possivelmente já passou por uma fase de núcleo ativo.

Centro da Galáxia

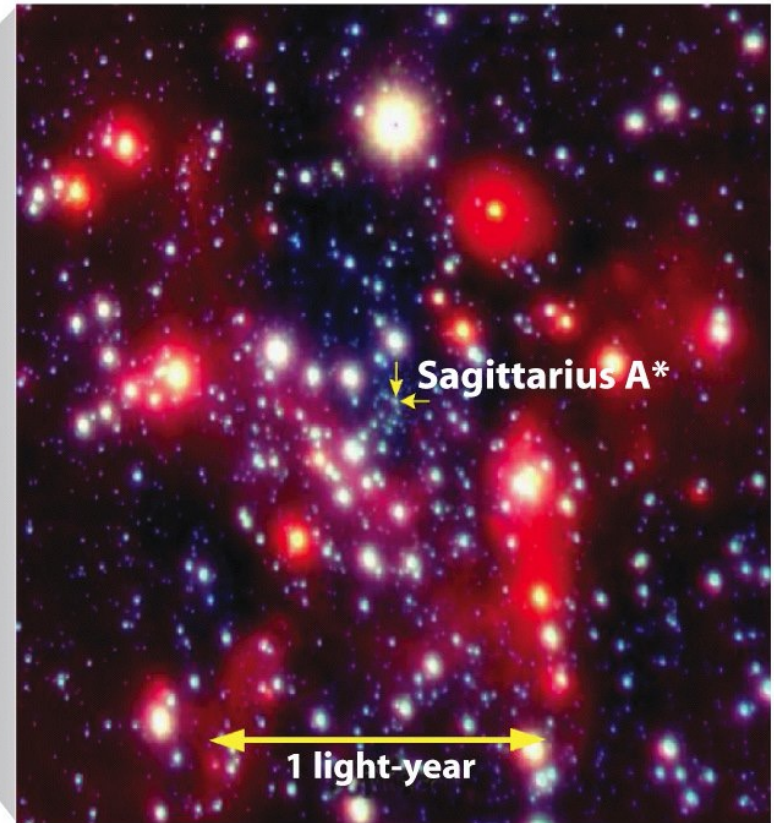
Na Via Láctea há um buraco negro supermassivo no centro.
Possivelmente a Galáxia já passou por uma fase de núcleo ativo.



Infravermelho,
campo de 50°.



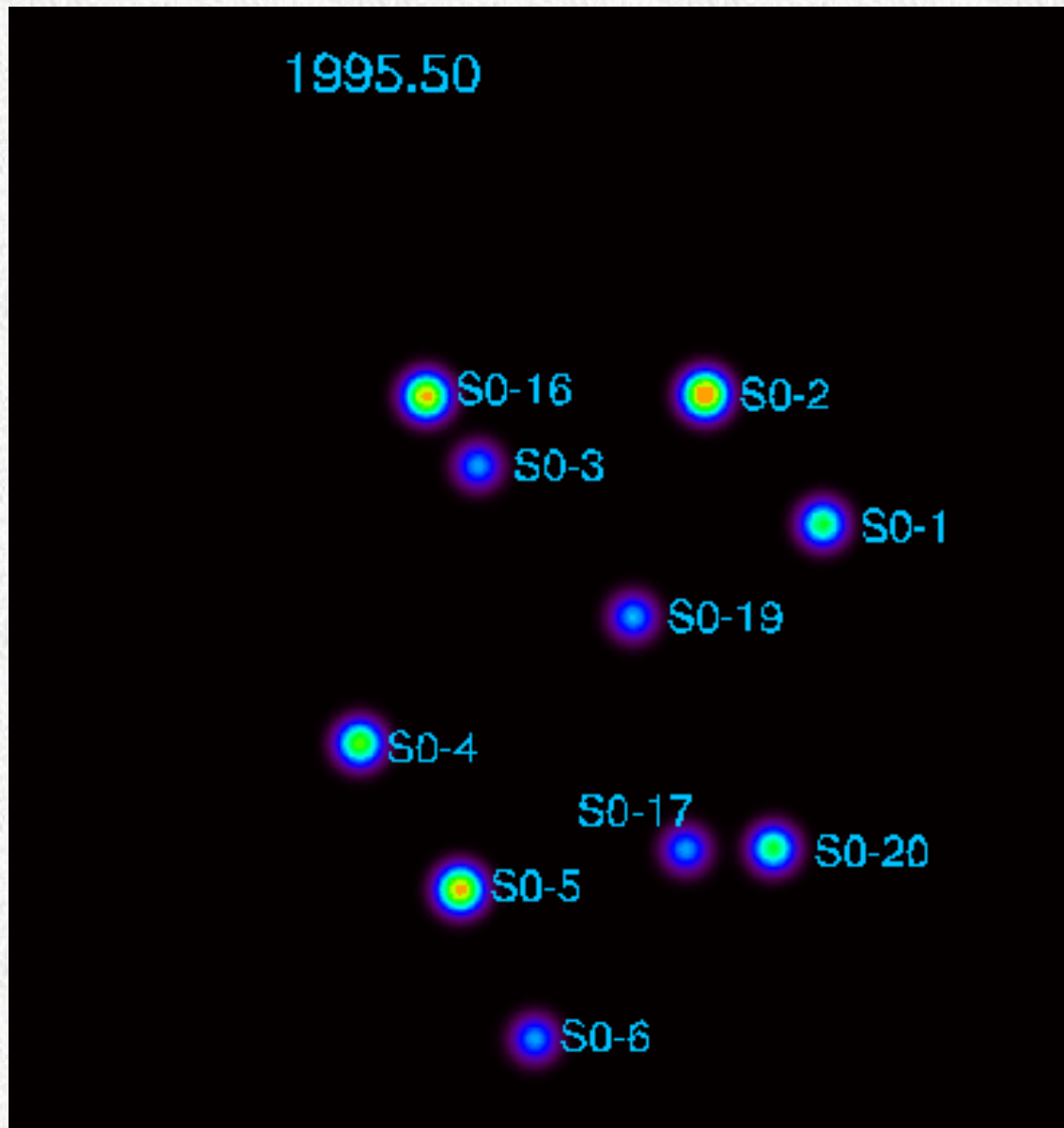
Infravermelho, com
destaque ao centro
Galáctico.



Infravermelho, onde vemos centenas de
estrelas próximas de Sagitário A*.

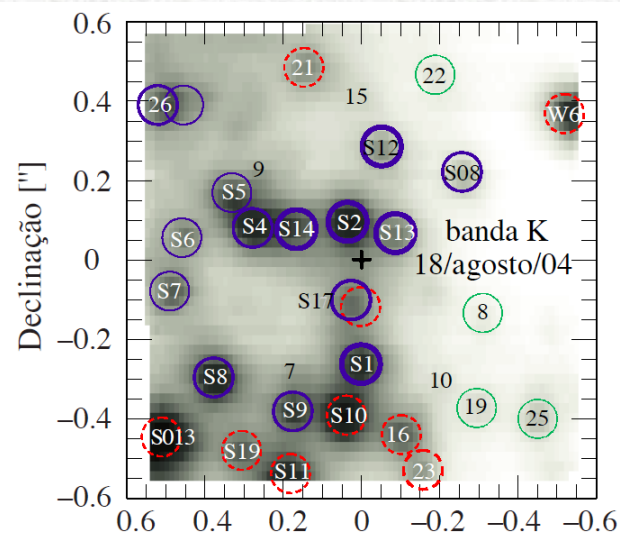
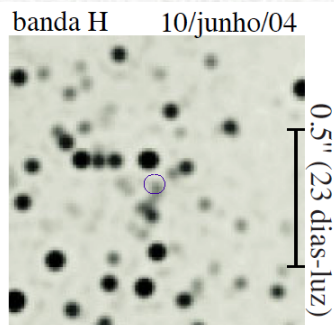
- Com infravermelho podemos observar melhor através da poeira do que no visível.

Centro da Galáxia

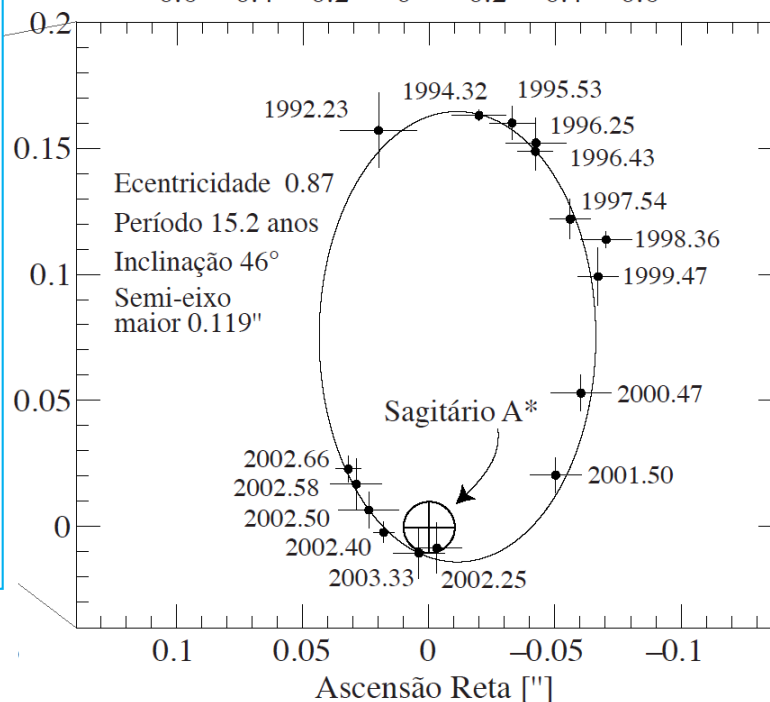
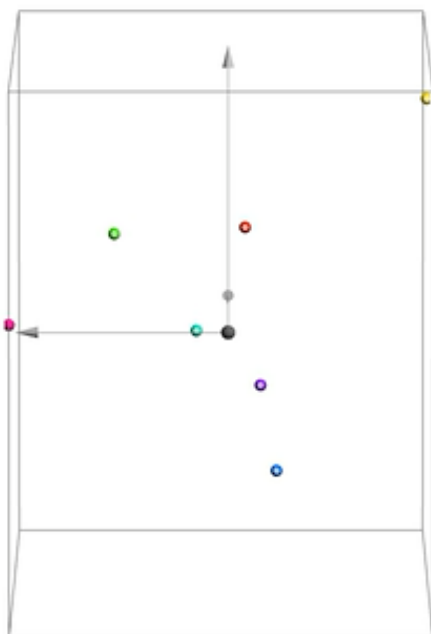


- Movimento de estrelas próximas do centro da Galáxia, observadas desde 1992.
- Massa no interior de ~ 120 U.A. = $4 \times 10^6 M_{\odot}$. → Buraco Negro Super Massivo.

Centro da Galáxia

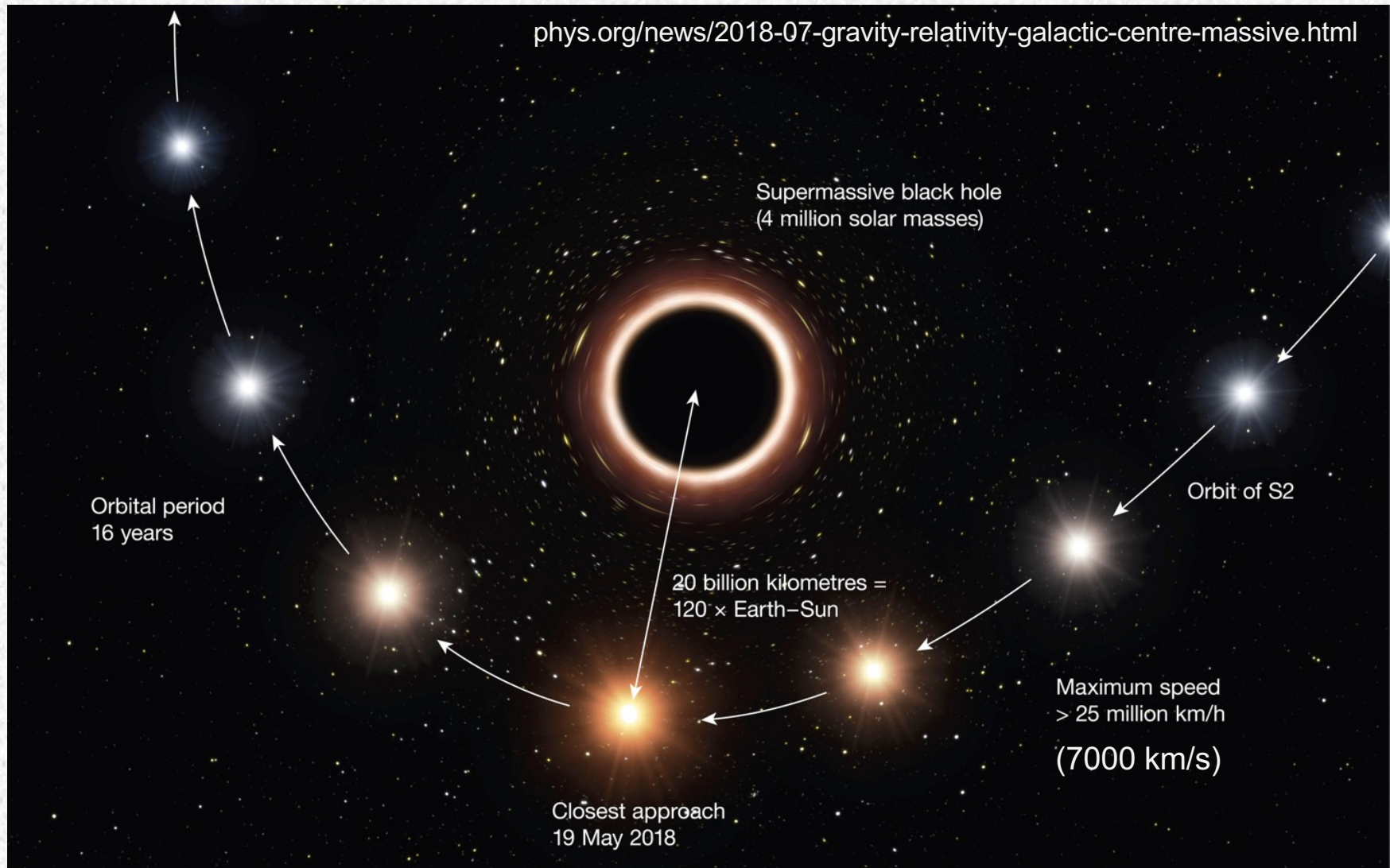


Ano: 1995.0



- Massa no interior de ~ 120 U.A. = $4 \times 10^6 M_{\odot}$. \rightarrow Buraco Negro Super Massivo.

Buraco negro supermassivo



- Passagem pelo periastro da estrela S2 em julho/2018 (passagem anterior há 16 anos).
- Teste de relatividade geral, luz da estrela fica ligeiramente mais vermelha: *redshift* gravitacional.

Buraco negro supermassivo



Roger Penrose



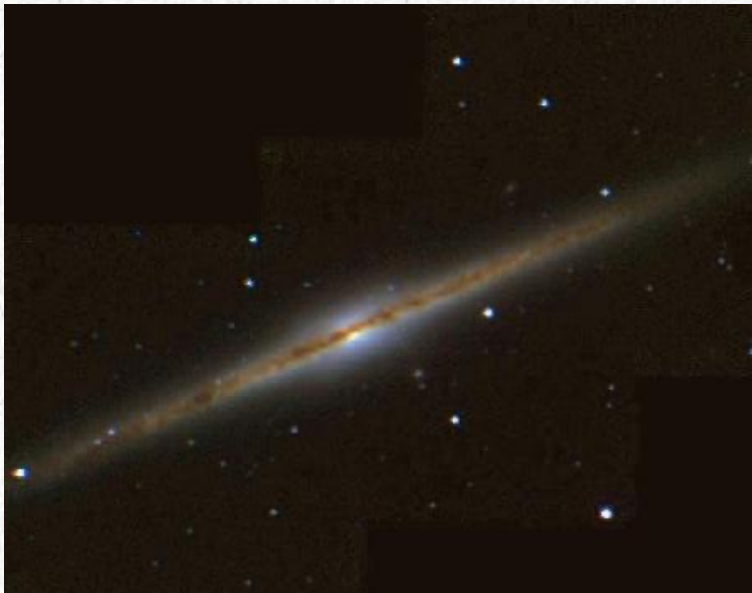
Reinhard Genzel



Andrea Ghez

- **Prêmio Nobel 2020** pelo trabalho sobre a física de buracos negros, inclusive o Buraco negro supermassivo da Via Láctea
- **Penrose**: Desenvolveu as **ferramentas matemáticas** para nossa compreensão do fenômeno de Buracos Negros. Recebeu metade do prêmio.
- **Genzel e Ghez** (quarta mulher a ganhar o Prêmio Nobel de Física), conseguiram a **maior evidência** até hoje de um Buraco Negro devido ao movimento de estrelas ao seu redor.

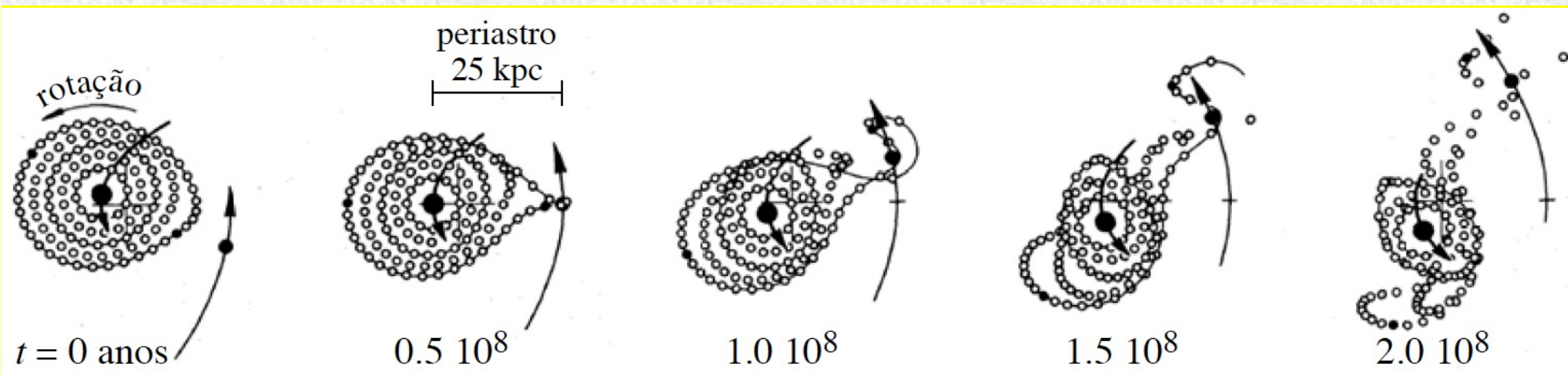
Galáxias normais e peculiares



- peculiaridade morfológica: irregulares.

Galáxias não são “universos-ilhas”

- ~60% das galáxias se encontram em algum tipo de associação: pares, grupos, aglomerados.
- Anos 1970: Galáxias irregulares (peculiares) são resultado de **interações gravitacionais**.

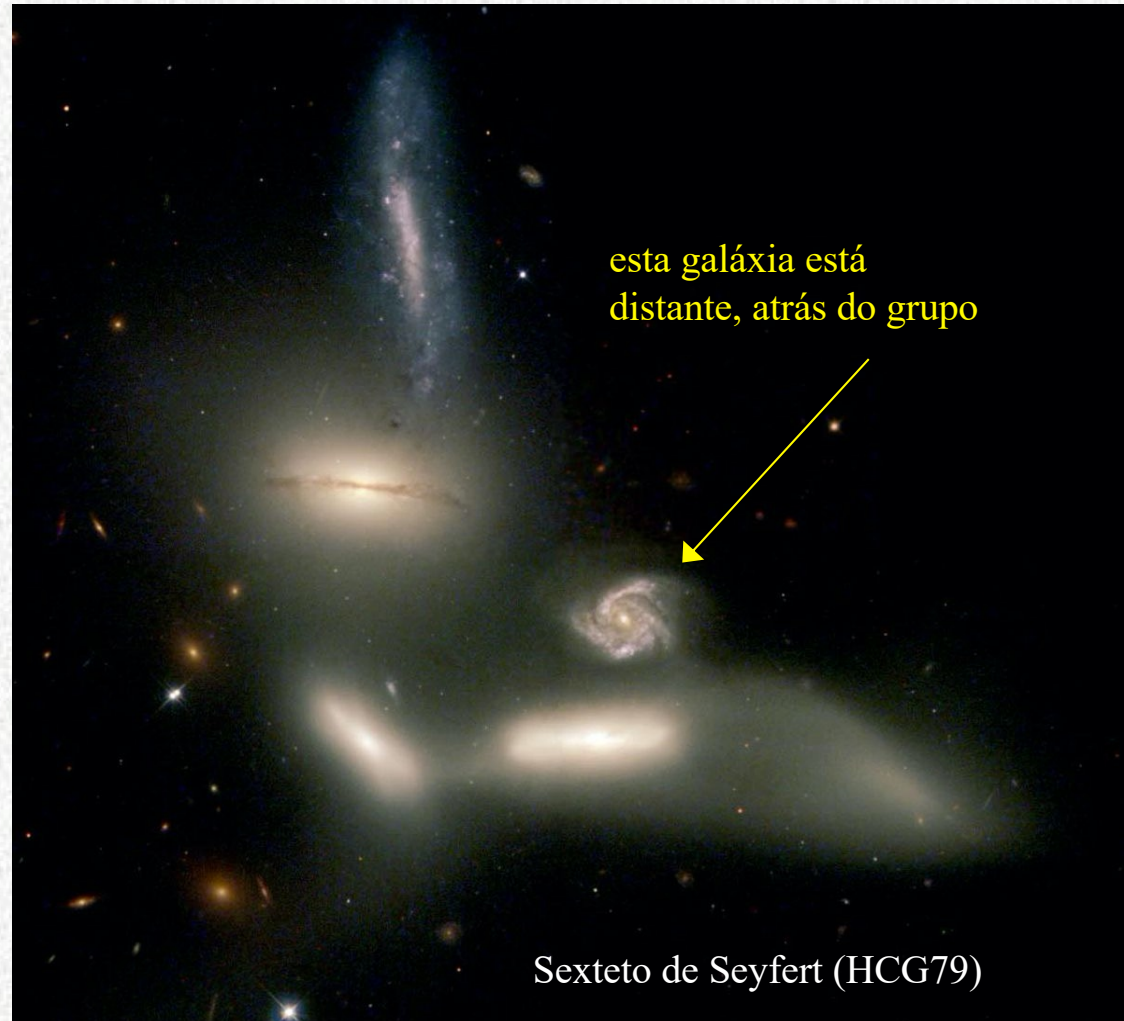


Toomre & Toomre 1972

- Simulação da passagem de uma galáxia anã esférica próxima de um disco (galáxia espiral).

Dificuldades observacionais

- Observa-se um “instantâneo” das interações;
- Observa-se apenas uma projeção;
- Qualidade da observação:
(resolução, profundidade).



Dificuldades teóricas

- Sistema gravitacional de muitos corpos.
- Tratamento do movimento do gás (hidrodinâmica).
- Formação estelar, explosões de Supernovas e núcleos ativos.

alphacrucis: 2304 processadores

alphacrucis: 2304 processadores

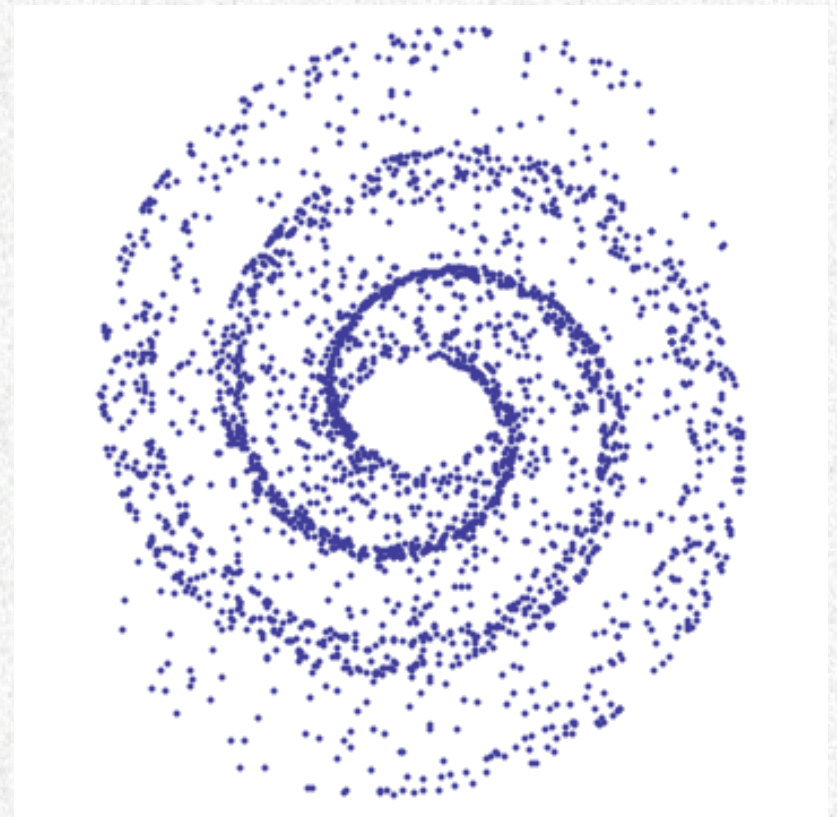


fotos: Paulo Perinazzo

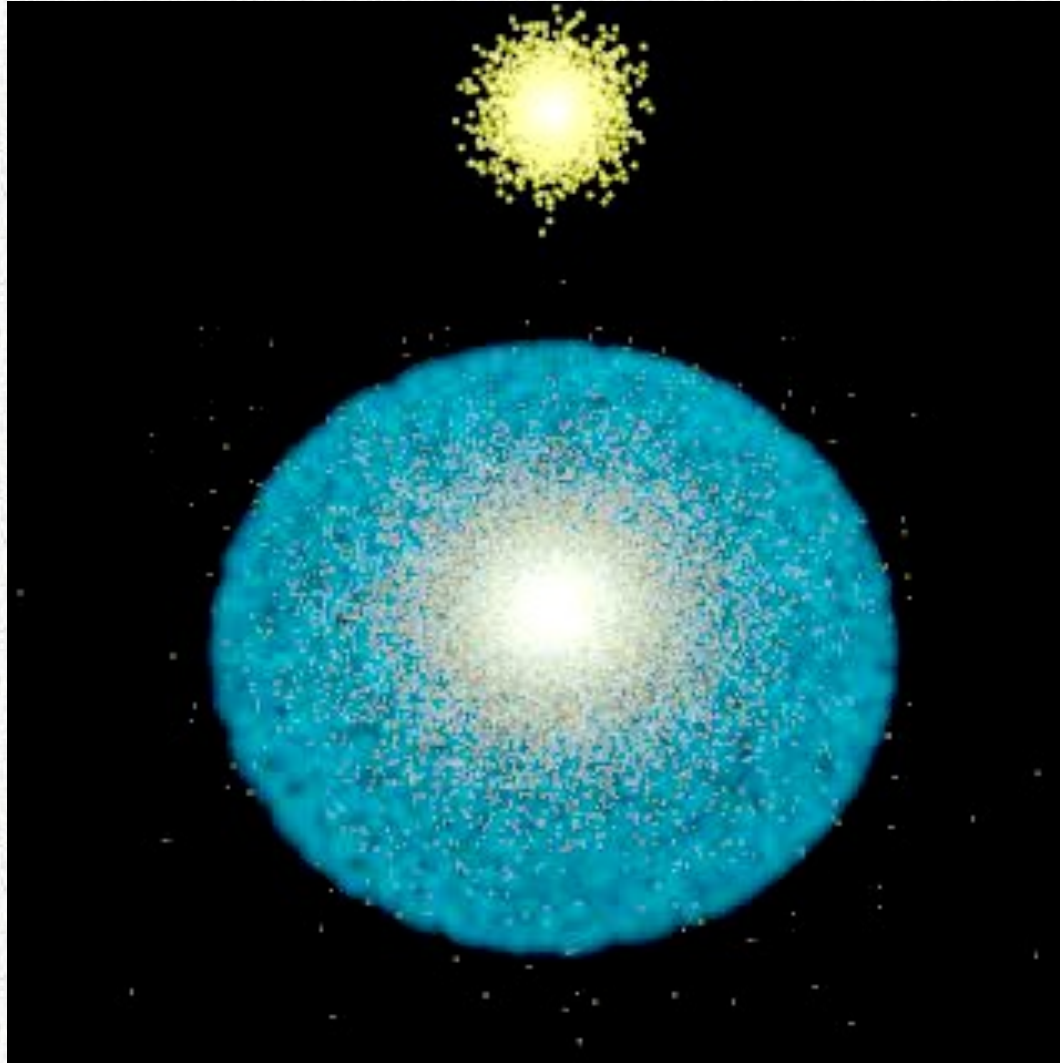
Super computador para cálculo numérico no IAG: Alphacrucis (2011–2020)

Simulações numéricas

- Fazemos um modelo com N -corpos (pontos).
- Cada “ponto” tem massa, posição e velocidade conhecida.
- A posição e a velocidade são avançadas passo a passo por um programa de computador.
- Usamos as leis da física.

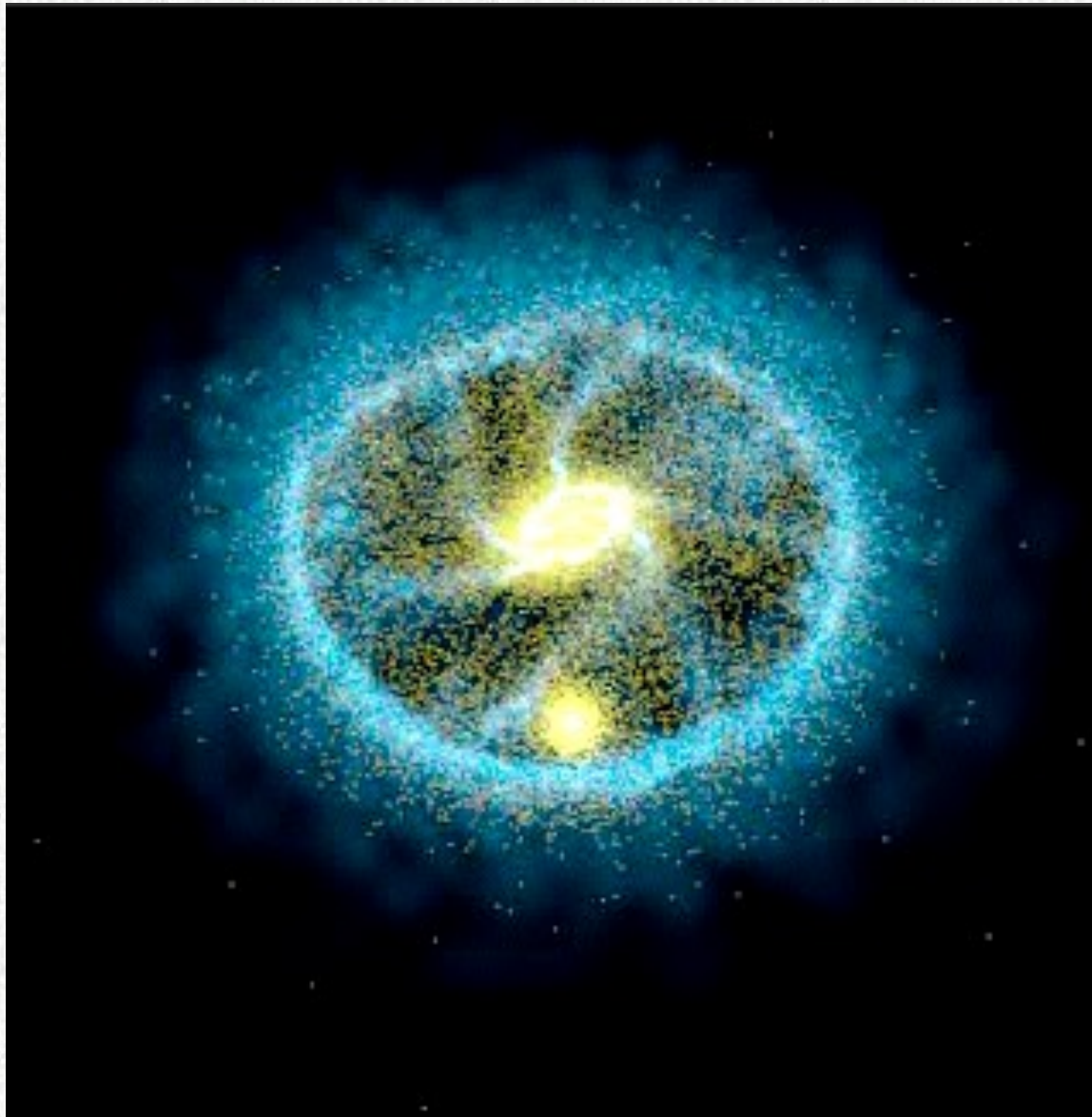


Simulação de uma colisão



- Galáxia anã atravessa o disco de uma galáxia espiral.

Simulação de uma colisão



- Galáxia anã atravessa o disco de uma galáxia espiral.

Galáxia “Roda de carruagem”

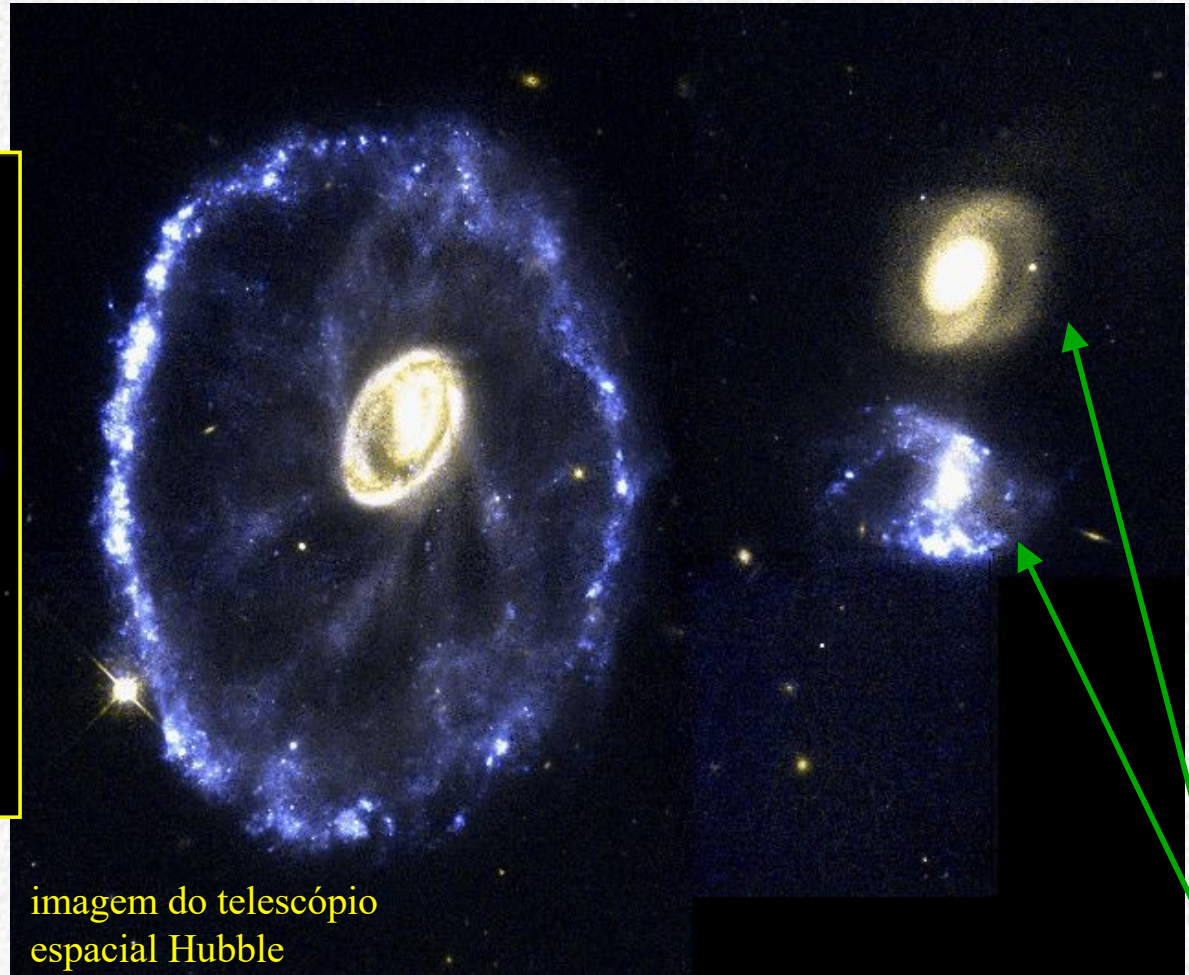
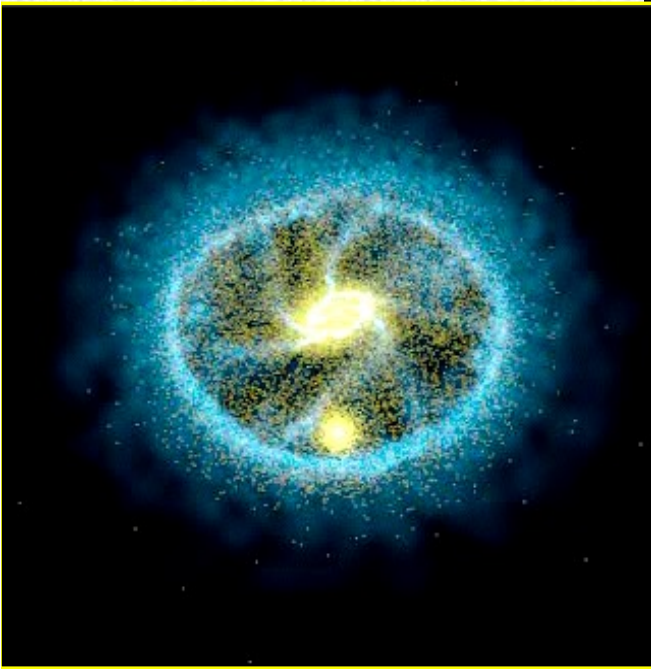
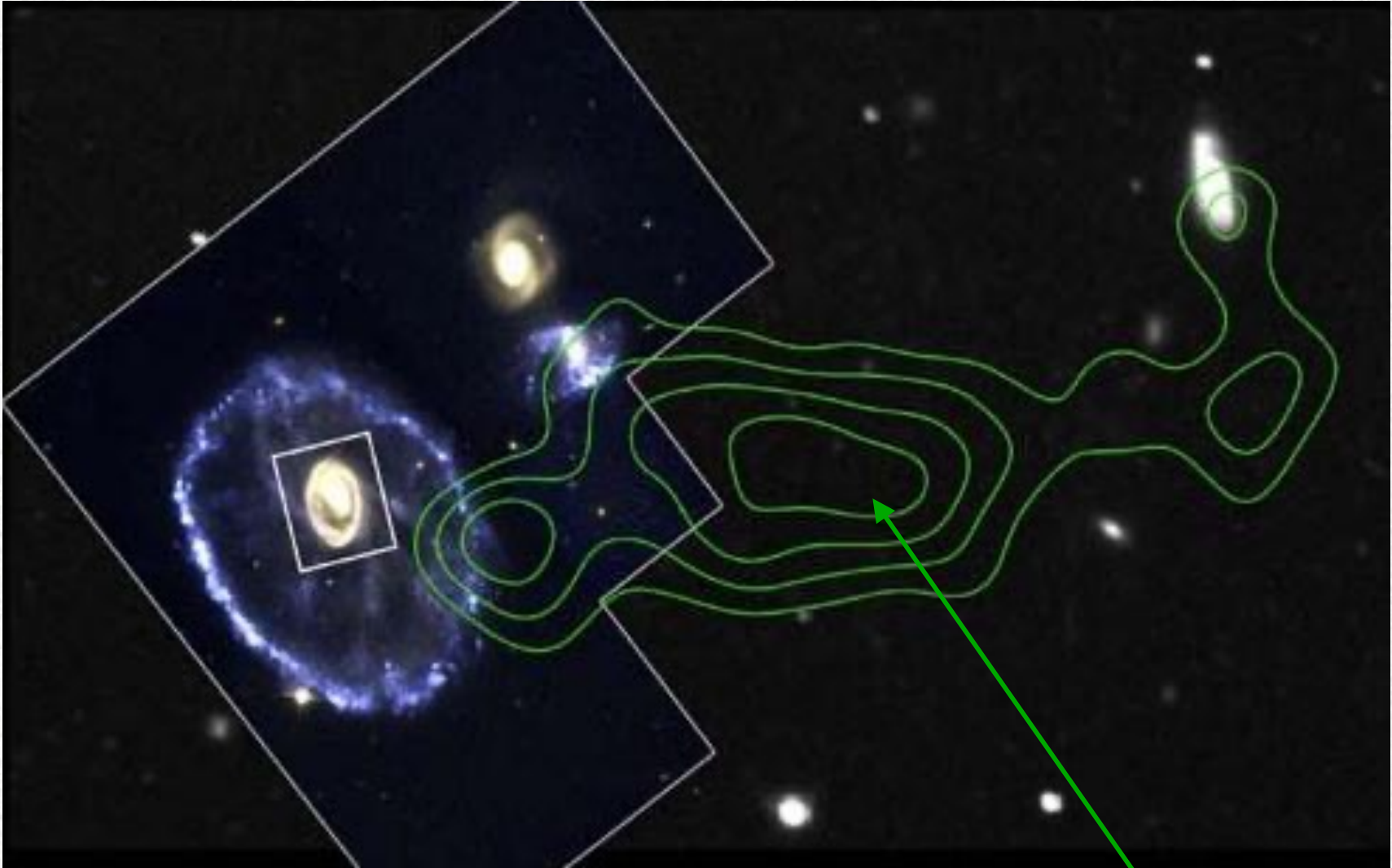


imagem do telescópio
espacial Hubble

Qual destas galáxias
anãs é a “culpada”?

Galáxia “Roda de carruagem”



Contornos da emissão de hidrogênio.

Colisão de galáxias de mesma massa

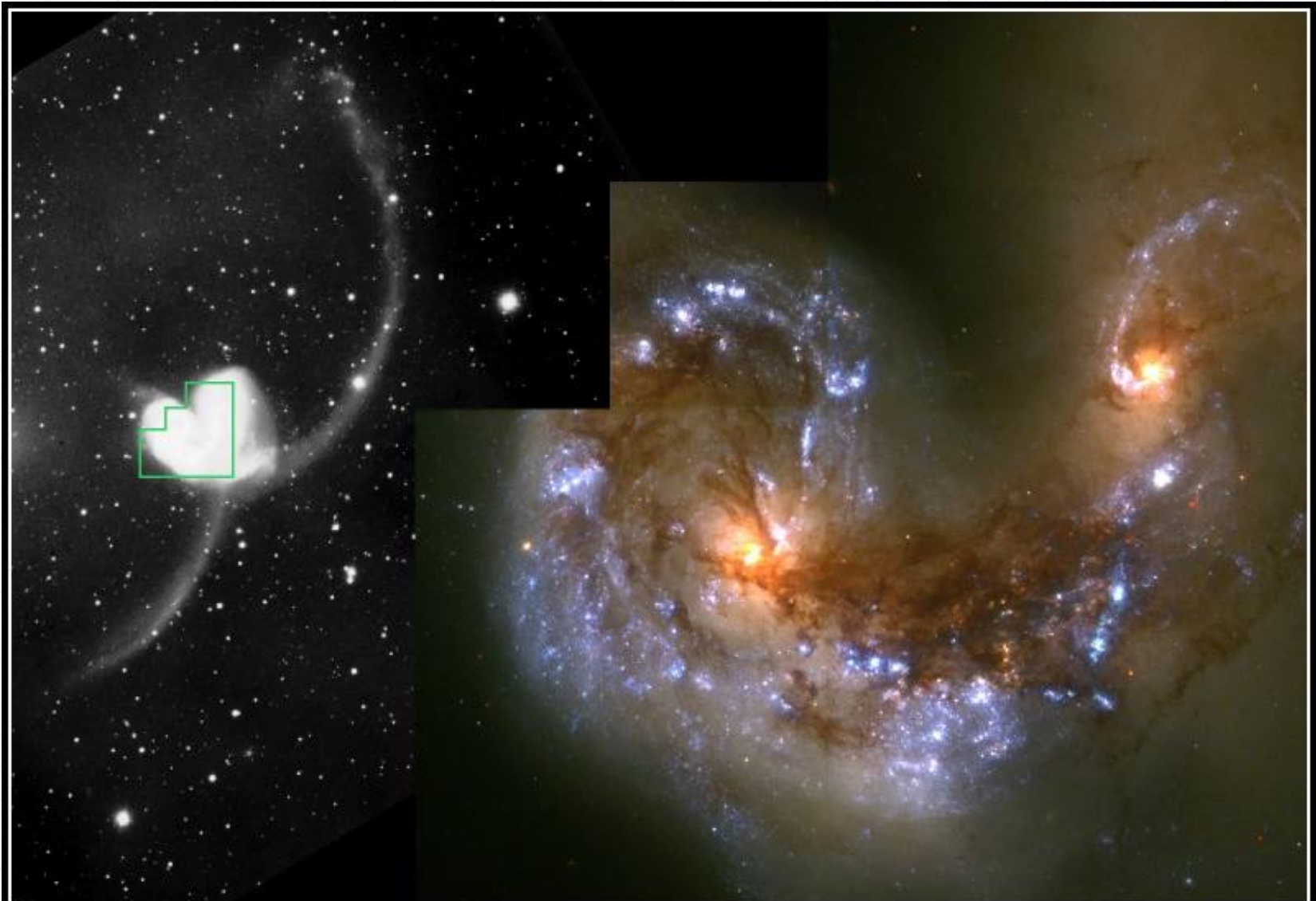


V. Springel

- Colisão de duas galáxias espirais

Colisão de galáxias de massas iguais

- Galáxia “Antena”.

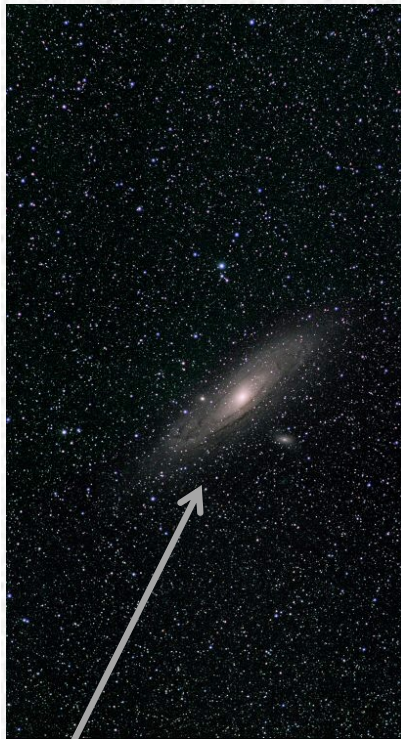


Colliding Galaxies NGC 4038 and NGC 4039

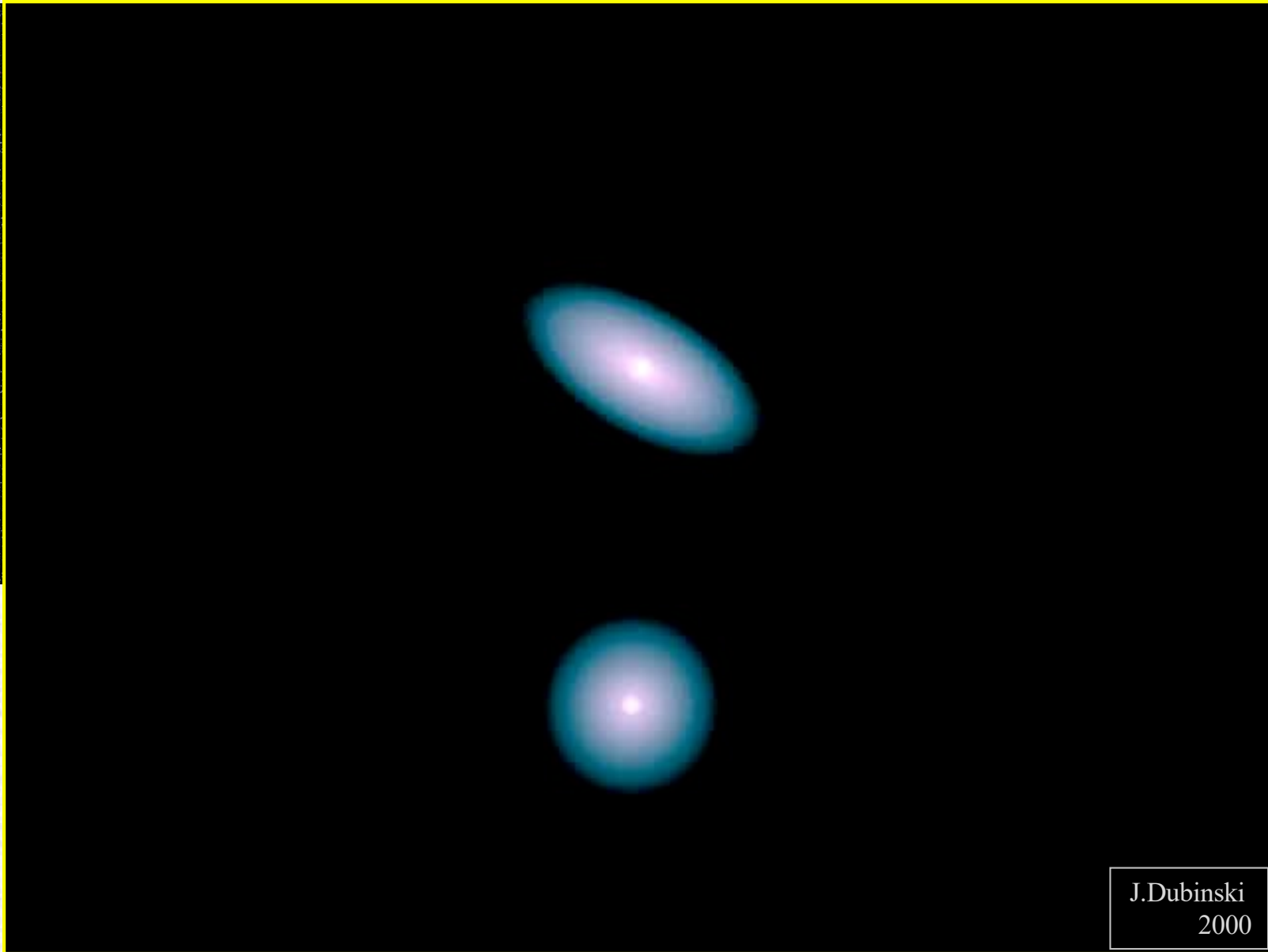
HST • WFPC2

PRC97-34a • ST Scl OPO • October 21, 1997 • B, Whitmore (ST Scl) and NASA

Via Láctea e M31: uma colisão no futuro?



M31 tem uma velocidade radial de 120 km/s na direção da Via Láctea, mas não conhecemos com precisão a velocidade transversal de M31



J.Dubinski
2000

- A colisão quase frontal deve ocorrer em cerca de 3,8 bilhões de anos.
- O resultado, em cerca de 7 bilhões de anos, será a fusão e a formação de uma galáxia elíptica gigante

Via Láctea e M31: uma colisão no futuro?

- Como a colisão entre a Via Láctea e M31 poderia ser vista da Terra.
- Estas imagens são extremamente especulativas, provavelmente a Terra não vai mais existir nas etapas finais da fusão entre estas 2 galáxias.
- Além disto, a trajetória do Sol é imprevisível em um intervalo de tempo tão grande.

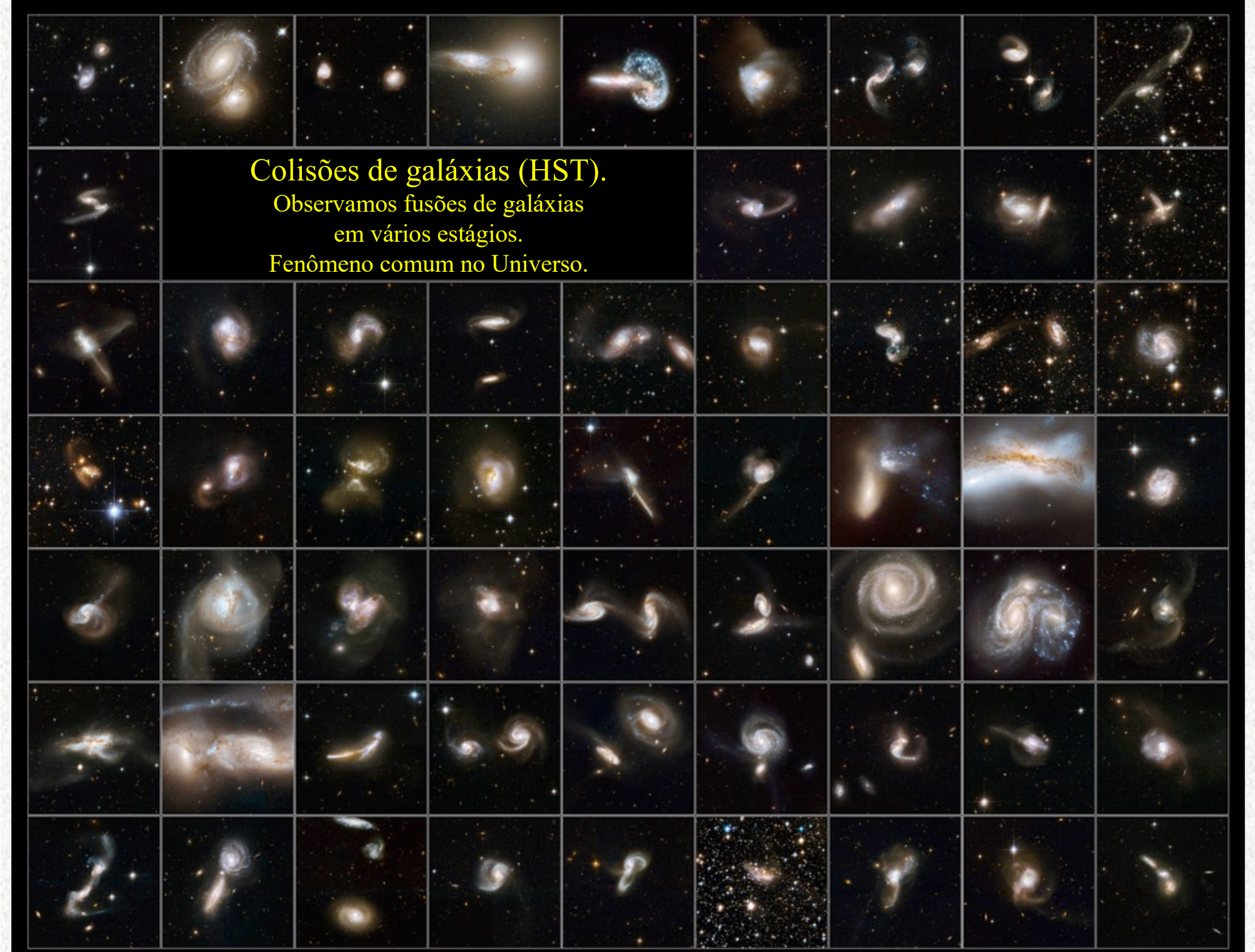


www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/milky-way-collide.html
(ESA; Z. Levay, R. van der Marel, STScI; T. Hallas, A. Mellinger)

Consequência das colisões

- Transformação morfológica:
 - Espiral + Espiral ou Espiral + Elíptica \implies Elíptica gigante (*massas semelhantes*)
 - Espiral + anã \implies Espiral ou Lenticular? (*massas diferentes*)
 - Elíptica + anã \implies Espiral?
- Aumento da taxa de formação estelar se houver gás em pelo menos uma das galáxias:
 - galáxias mais brilhantes e azuis.
- Aumento da atividade nuclear: o gás pode ser levado ao centro da galáxia
 - quasares, seyferts e radiogaláxias.





Colisões de galáxias (HST).
Observamos fusões de galáxias
em vários estágios.
Fenômeno comum no Universo.