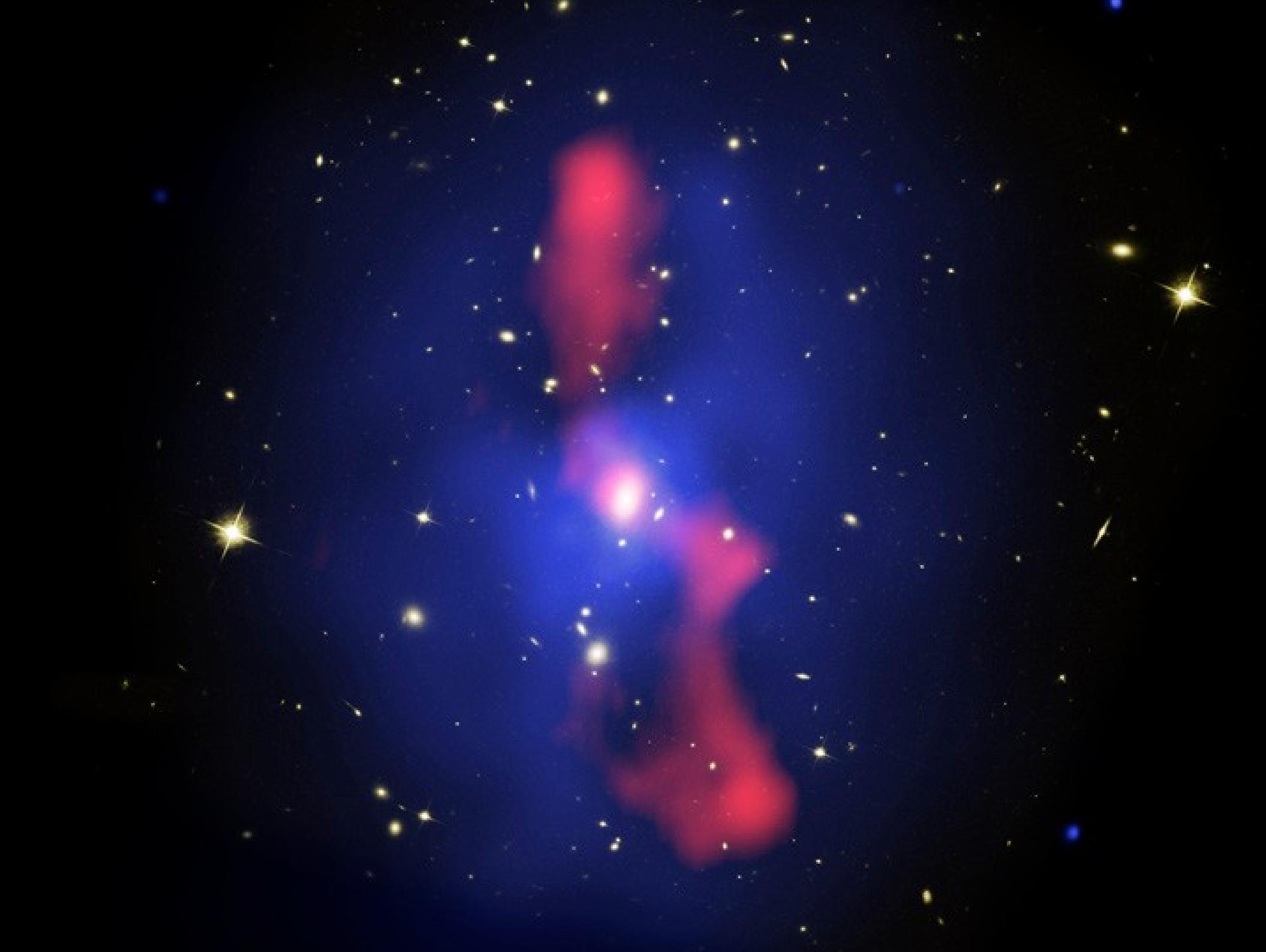


# Galáxias, Classificação, Evolução

Tópicos aula 13

Silvia Lorenz Martins 2018  
OV/UFRJ







ESO, Judy Schmidt

NGC 6872: A Stretched Spiral Galaxy

Image Credit: FORS Team, 8.2-meter VLT Antu, ESO; Processing & License: Judy Schmidt



NGC 4631: The Whale Galaxy - elliptica  
Image Credit & Copyright: Martin Pugh

The Sombrero Galaxy from Hubble

Image Credit: Hubble Heritage Team (AURA/STScI /NASA)



# The Sombrero Galaxy in Infrared

Image Credit: R. Kennicutt (Steward Obs.) et al., SSC, JPL, Caltech,  
NASA





M33: Triangulum Galaxy  
Image Credit & Copyright: Giovanni Benintende

# O que são galáxias?

- Século XIX: “nebulosas espirais”
  - Sistemas solares em formação?
- ~ 1920: estrelas foram encontradas nessas ‘nebulosas’
- Final dos anos 20: as nebulosas eram sistemas estelares como a Via Láctea.
  - o evento de maior amplificação da imagem do Universo na história humana

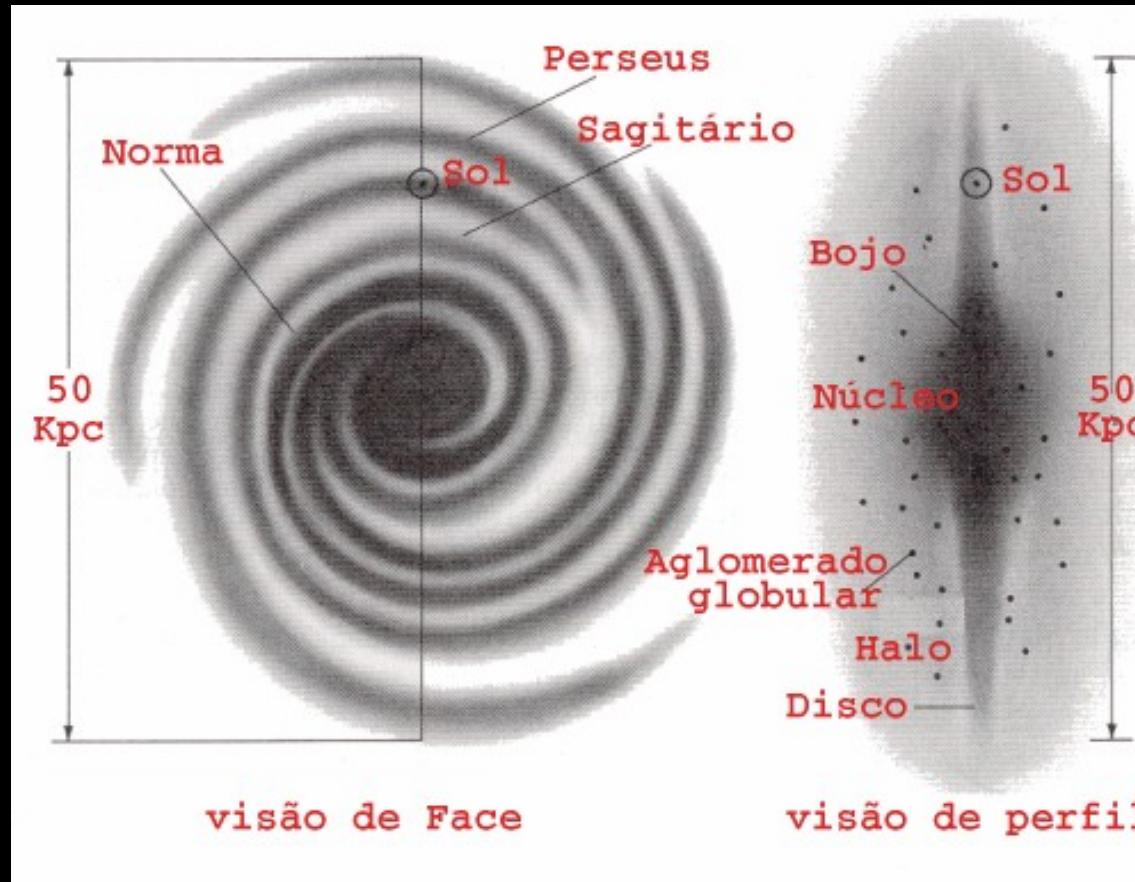
# A Natureza das ‘Nebulosas Difusas’

- Séc. XVIII : Kant e Laplace  
nebulosas espirais seriam ‘universos-ilhas’ como  
a Via Láctea, mas a grandes distâncias
- Séc. XIX : Via Láctea ainda é sinônimo de Universo
- 1908 : Henrietta Leavitt observa uma relação entre o período de variabilidade e o brilho intrínseco  
(luminosidade) de estrelas Cefeidas nas Nuvens de Magalhães:

# Resolvendo a natureza

- 1920 : Grande debate Shapley x Curtis
  - Shapley mede a distância das nuvens de Magalhães, determina (erroneamente...) que elas estão na Galáxia
  - infere que todas as nebulosas difusas pertencem à Via Láctea
- 1924 : Edwin Hubble detecta variáveis Cefeidas na grande nebulosa de Andromeda (M31) com o novo telescópio de 2,5 metros de Mt. Wilson
  - usando a calibração de Shapley da relação período-luminosidade conclui que M31 está a 380 kpc – muito mais distante que a dimensão da Via Láctea

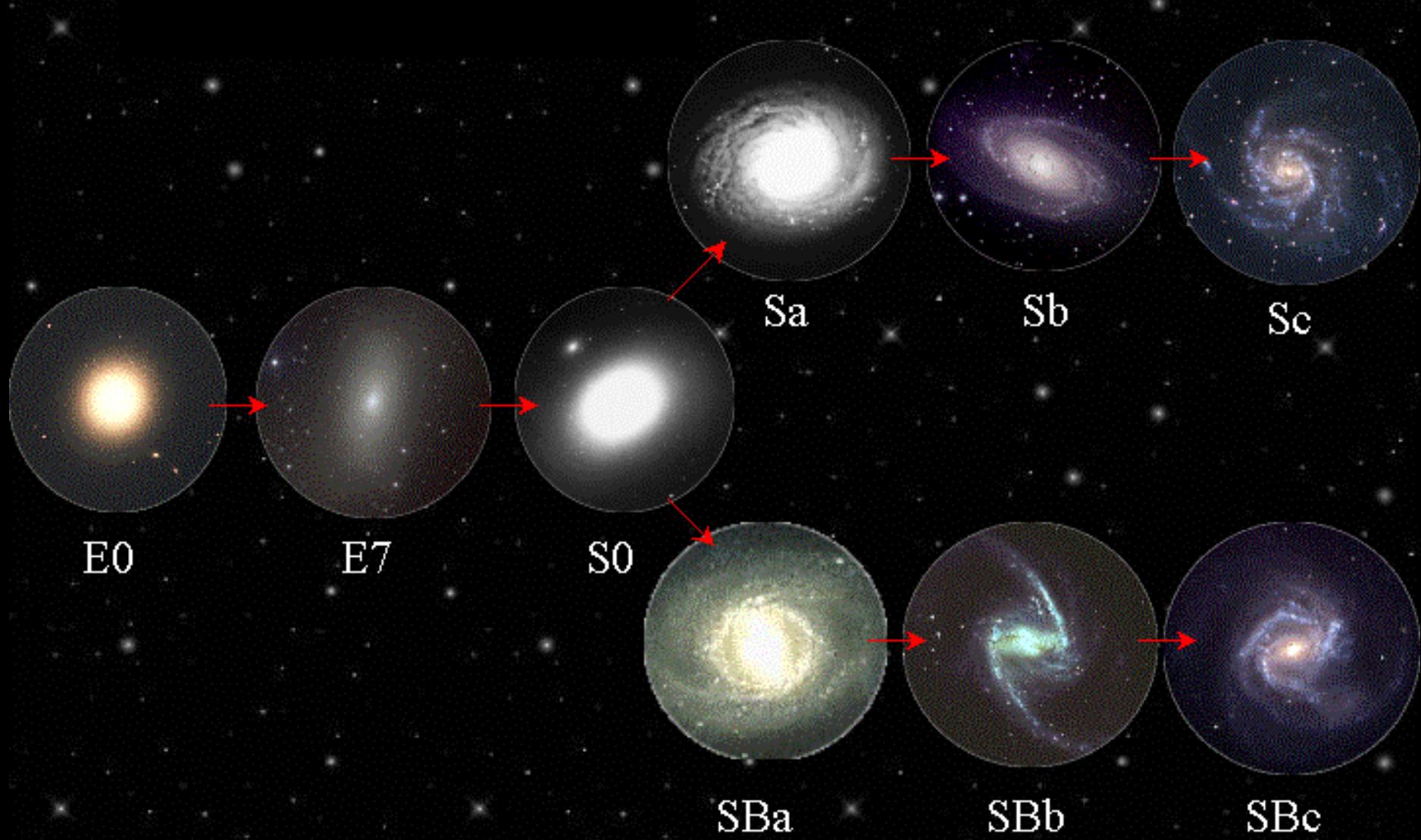
# Via-Láctea



- Para cruzar a galáxia, viajando à velocidade da luz, levaríamos 163.000 anos!

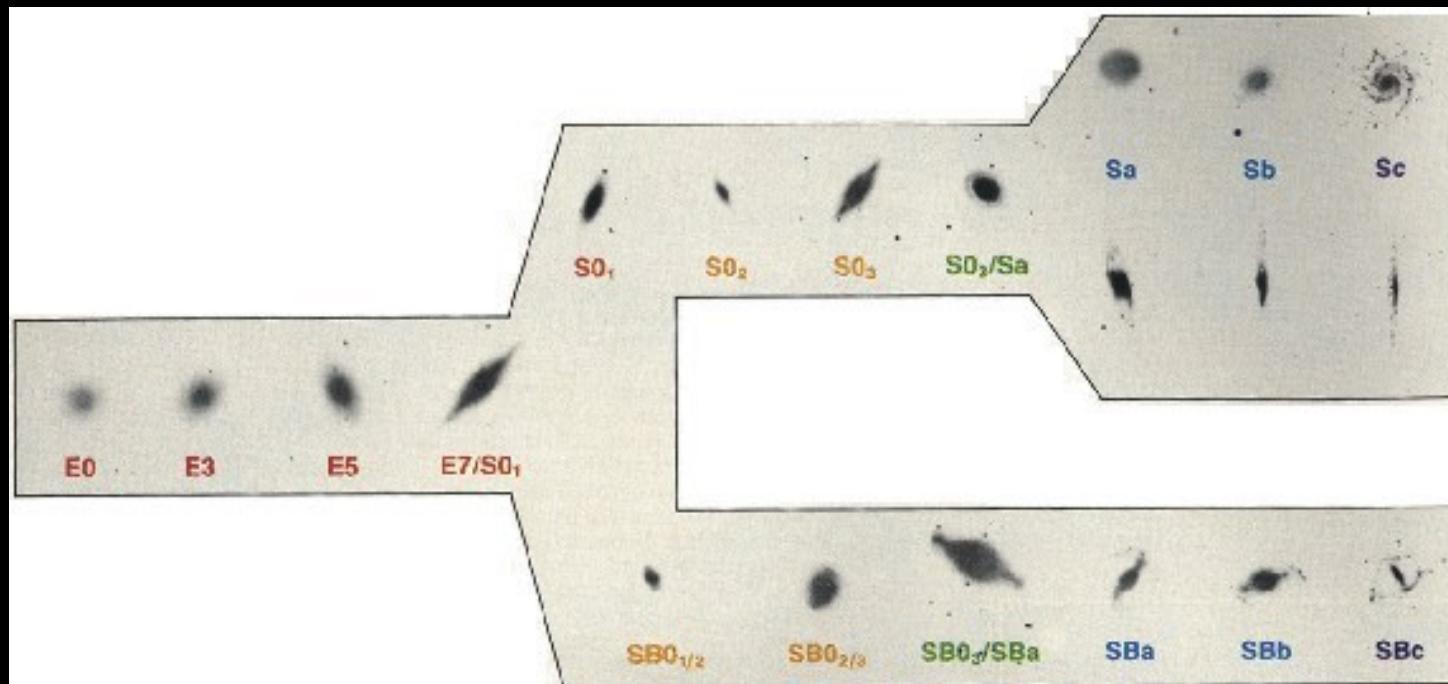
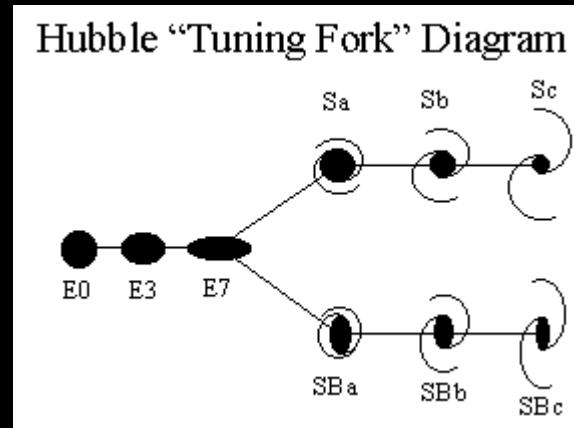
$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ anos-luz} = 206.265 \text{ ua} = 3,086 \times 10^{13} \text{ km}$$

# Classificação de Hubble



# Classificação de Hubble para as galáxias

- As galáxias brilhantes no campo se encaixam basicamente em três categorias morfológicas:
  - Galáxias Espirais (75%)
  - Galáxias Elípticas (20%)
  - Galáxias Irregulares (5%)



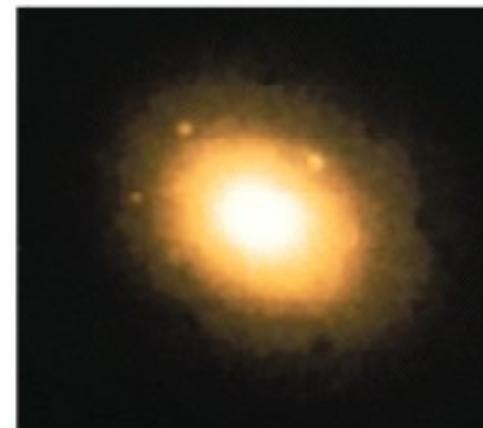
# Elíptica: morfologia

- Estrutura:

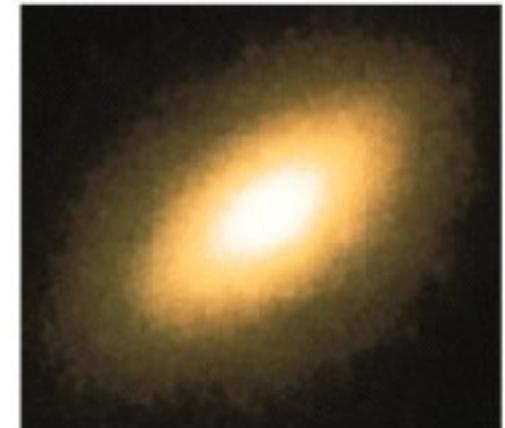
- Esferoide
- Pouca estrutura interna:  
sem discos ou braços espirais
- Classificadas de acordo com o grau de achatamento:
  - $10 \times \text{elipticidade} = 10 \times (1 - b/a)$
  - E0 é circular
  - E7 é a mais plana (3:1)



E0



E3



E6

# Elíptica: características

- Conteúdo Estelar:
  - Pouco gás ou poeira
  - Formação estelar cessou a bilhões de anos atrás
  - Estrelas de População II (velhas)
  - Estrelas mais brilhantes são vermelhas
- Propriedades Físicas:
  - Massa:  $10^5 - 10^{13}$  Msol
  - Diâmetro: 1 - 200 kpc
  - Luminosidade:  $10^6 - 10^{12}$  Lsol
- 
- Dinâmica:
- Mantida por movimentos aleatórios de estrelas, com muito baixa rotação

NGC 1316: é uma galáxia elíptica que começou a “devorar” sua vizinha, NGC 1317 uma espiral, há 100 bilhões de anos atrás



NGC 1316: After Galaxies Collide

Image Credit & Copyright: Damian Peach/SEN

# Elliptical M60, Spiral NGC 4647

Image Credit & Copyright: NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



HCG 87: grupo compacto de galáxias: Uma espiral vista lateralmente, uma elíptica ao seu lado, e outra espiral acima. A pequena espiral no centro não pertence ao grupo



HCG 87: A Small Group of Galaxies

Image Credit: GMOS-S Commissioning Team, Gemini Observatory

# Espiral: morfologia



# Espiral: morfologia

## Estrutura:

Bojo central + Disco (com braços espirais) + Halo (não visível)

Classificadas pelo aspecto relativo do bojo central e abertura dos braços espirais. São subdivididas em dois grupos paralelos:

- Espirais Normais (S) →
- Braços saem diretamente da parte central:
  - Sa: bojo grande e braços apertados, pouco distintos
  - Sb: tipo intermediário
  - Sc: bojo pequeno e braços abertos e bem definidos

- Espirais Barradas (SB) → Apresentam uma barra central ou núcleo ovalado:
  - Barra gira como um todo (rotação de corpo rígido)
  - Braços espirais surgem do fim das barras
  - Mesmas subclasses que as normais: SBa, SBb, and SBc
  - Mesmo número aproximado de normais e barradas

# Espiral: características

## Gás e Conteúdo Estelar:

- Cerca de 10 - 20 % de gás
- Formação estelar presente no disco
- Mistura de estrelas de Pop I (jovens) e Pop II (velhas)

## Propriedades Físicas:

- Massa:  $10^9 - 10^{12} M_{\text{sol}}$
- Diâmetro: 5 - 50 kpc
- Luminosidade:  $10^8 - 10^{11} L_{\text{sol}}$

## Dinâmica:

- Disco mantido por rotação relativamente rápida, mas o esferoide é mantido por movimentos aleatórios



## NGC 4414: A Telling Spiral

Credit: W. Freedman (Carnegie Obs.) , L. Frattare (STScI) et al.,  
& the Hubble Heritage Team (AURA/ STScI/ NASA)



M83: The Thousand-Ruby Galaxy – pequena barra

Image Credit: Subaru Telescope (NAOJ), Hubble Space Telescope,  
European Southern Observatory - Processing & Copyright: Robert Gendler

# M100: Galáxia espiral semelhante a Via Lactea, membro do aglomerado de Virgo

Image Credit: Hubble Legacy Archive, NASA, ESA - Processing & Licence: Judy Schmidt



# Barred Spiral Galaxy NGC 1073

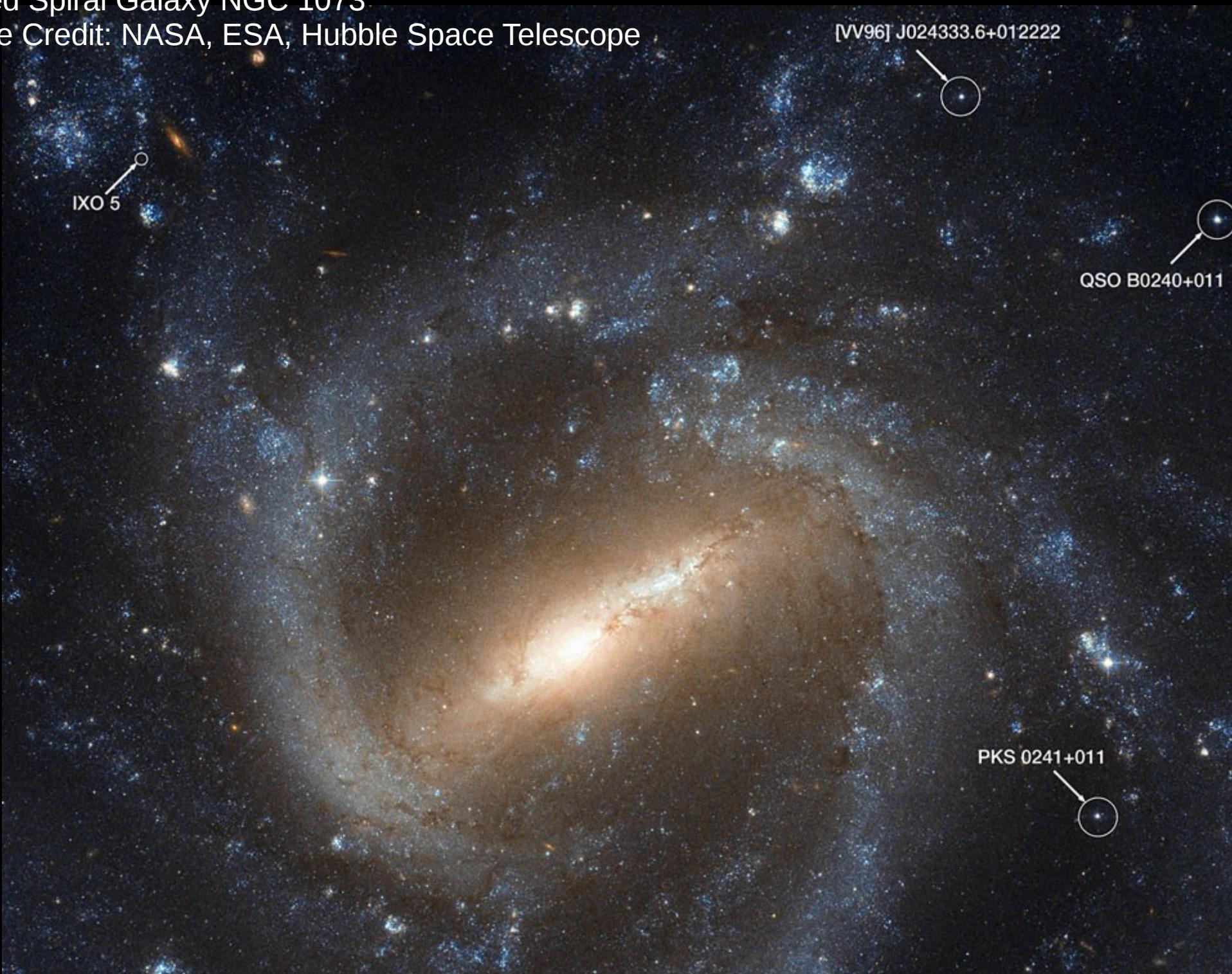
Image Credit: NASA, ESA, Hubble Space Telescope

[VV96] J024333.6+012222

IXO 5

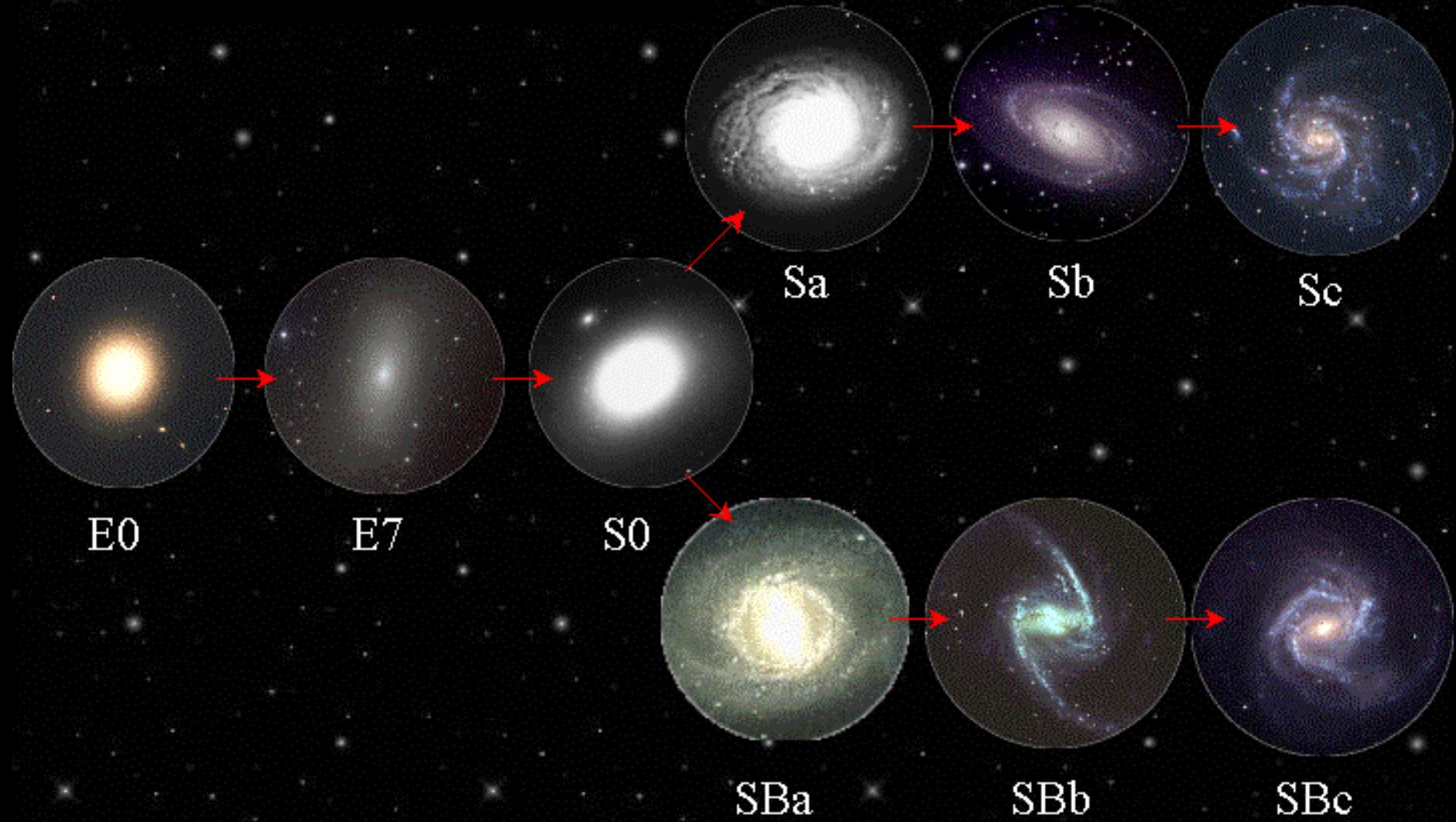
QSO B0240+011

PKS 0241+011



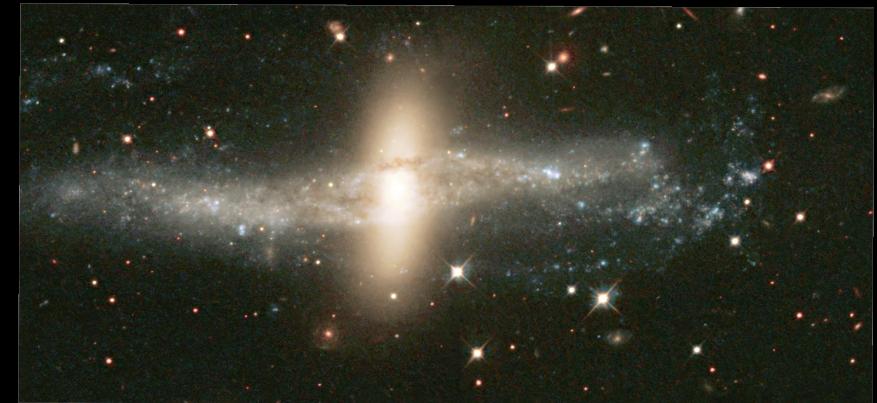


NGC 1365: A Nearby Barred Spiral Galaxy  
Credit: FORS Team, 8.2-meter VLT Antu, ESO



# Problemas com o esquema de Hubble

- Desconsidera galáxias amorfas ou que seguem morfologias pouco frequentemente encontradas no Universo.
- Baseia-se na **luz visível** das galáxias. Boa parte dos novos levantamentos de galáxias usam outras faixas do espectro eletromagnético.



# M82: Galáxia com um supervento galático

Image Credit: NASA, ESA, The Hubble Heritage Team, (STScI/AURA)

Acknowledgement: M. Mountain (STScI), P. Puxley (NSF), J. Gallagher (U. Wisconsin)

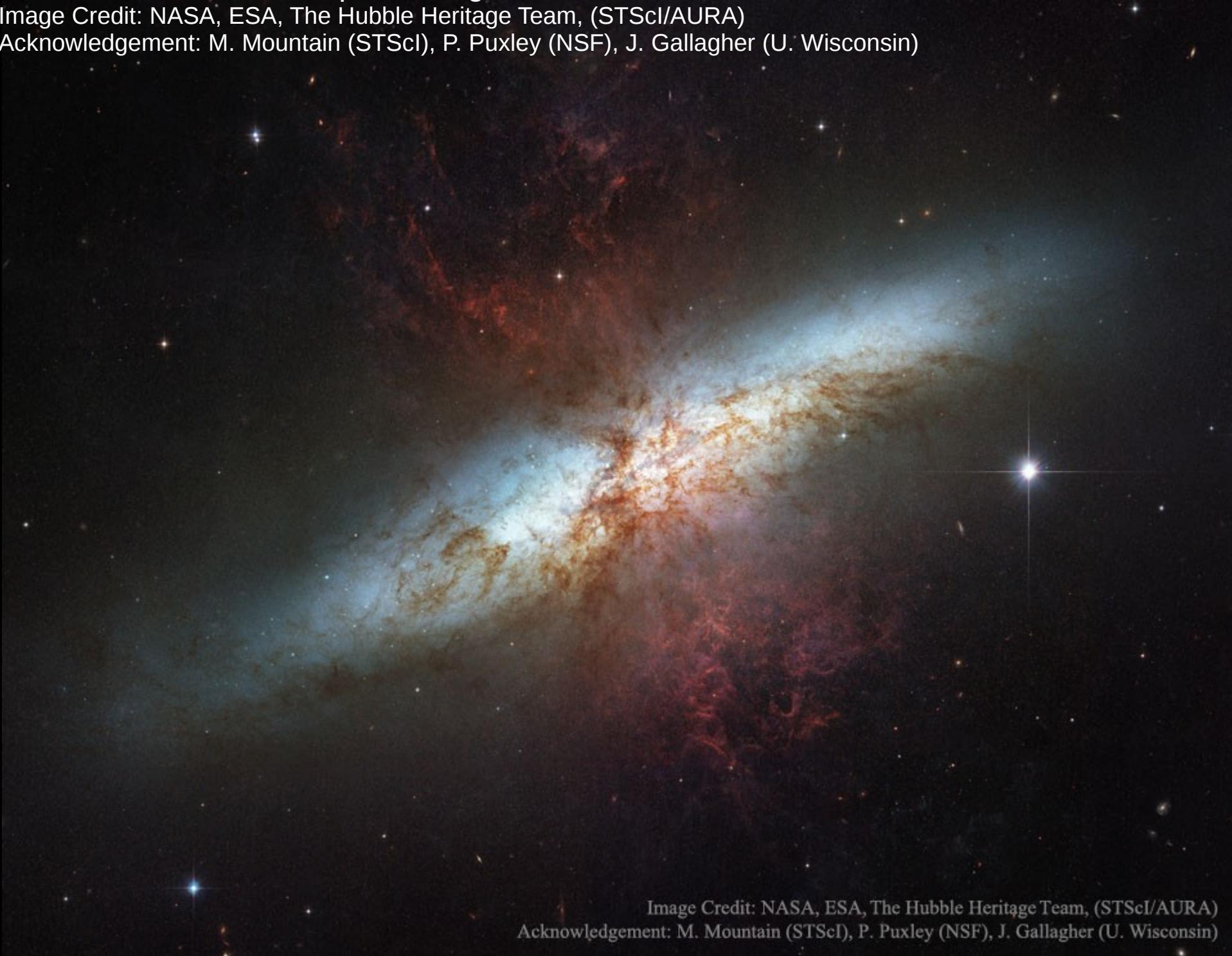
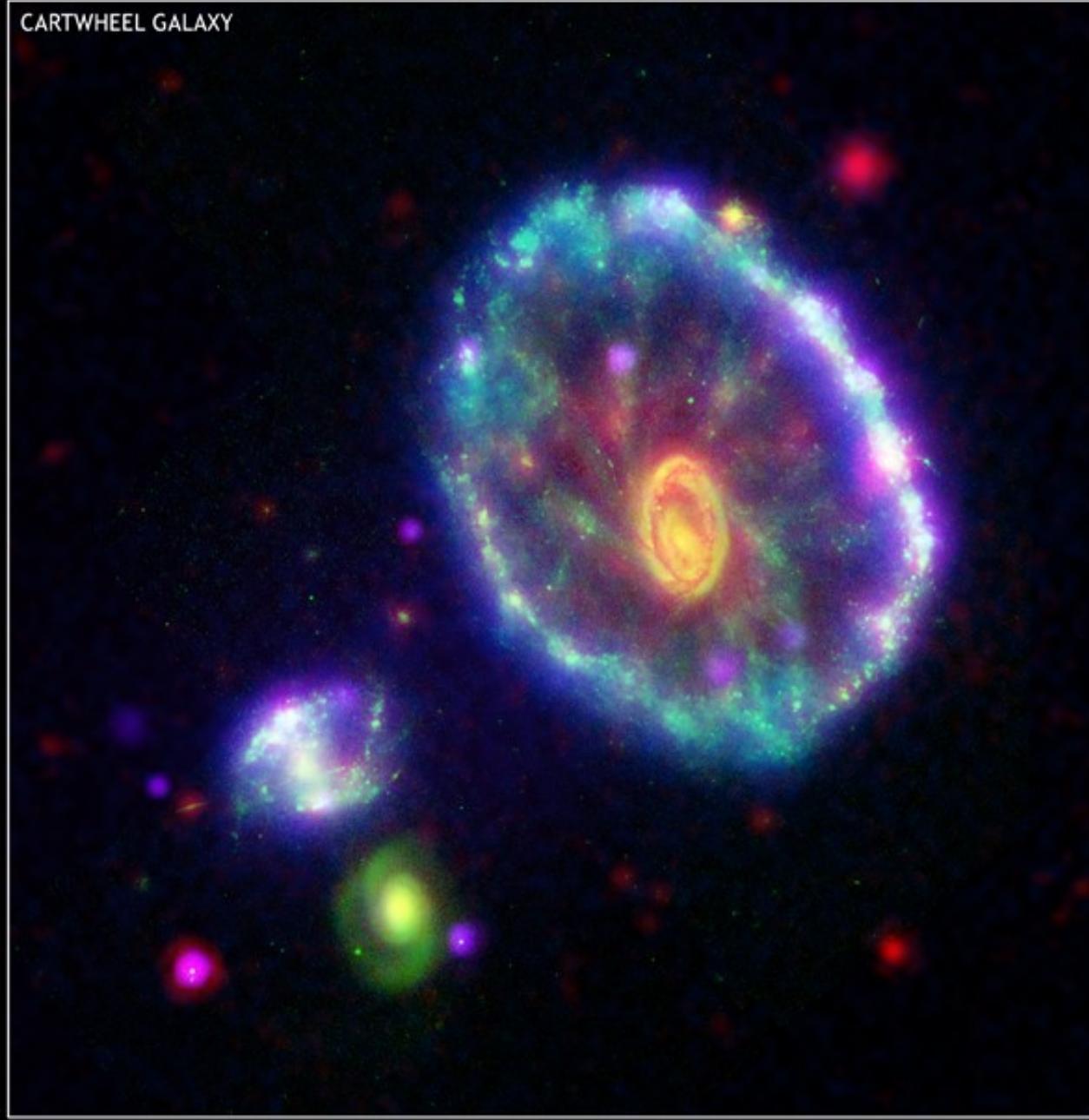


Image Credit: NASA, ESA, The Hubble Heritage Team, (STScI/AURA)  
Acknowledgement: M. Mountain (STScI), P. Puxley (NSF), J. Gallagher (U. Wisconsin)

CARTWHEEL GALAXY



CHANDRA X-RAY



GALEX ULTRAVIOLET



HUBBLE VISIBLE



SPITZER INFRARED

Cartwheel of Fortune: resultado de uma possível colisão entre duas galáxias  
Credit: Chandra, GALEX, Hubble, Spitzer - Composite: NASA/JPL/Caltech/P.Appleton et al.

# Galáxia do Sombrero através do espectro

Credit: X-ray: NASA/UMass/Q.D.Wang et al.; Optical: NASA/STScI/AURA/Hubble Heritage;

Infrared: NASA/JPL-Caltech/Univ. AZ/R.Kennicutt/SINGS Team



# Galáxias Anãs

- Elípticas anãs (dE): pobres em gás, população estelar velha; muitas possuem núcleos bem marcados (dE,N).
- Esferoidais anãs (dSph): pobres em gás, sistemas difusos; baixa luminosidade (menos do que as dE).
- Irregulares anãs (dIrr): ricas em gás; apresentam formação estelar ativa, mas baixo brilho superficial.



Wolf-Lundmark-Melotte (8.000 anos-luz de tamanho)  
Image Credit: ESO, VST/Omegacam Local Group Survey

# Galáxias “starburst”

- Galáxias “starburst” são aquelas em que a formação estelar ocorre em larga escala, em intensidade ordens de grandeza maior do que em galáxias normais.
- O surto de formação estelar tende a ser produzido por perturbações com galáxias próximas.

# NGC 3310: A Starburst Spiral Galaxy

Image Credit & Copyright: AAO ITSO Office, Gemini Obs./AURA & T. A. Rector (U. Alaska Anchorage)



© AAO ITSO office, Gemini Observatory/AURA  
& T.A. Rector (University of Alaska Anchorage)

# Starburst Galaxy M94

Image Credit & Copyright: Leonardo Orazi





Starburst Galaxy Messier 94  
Image Credit: ESA/Hubble and NASA

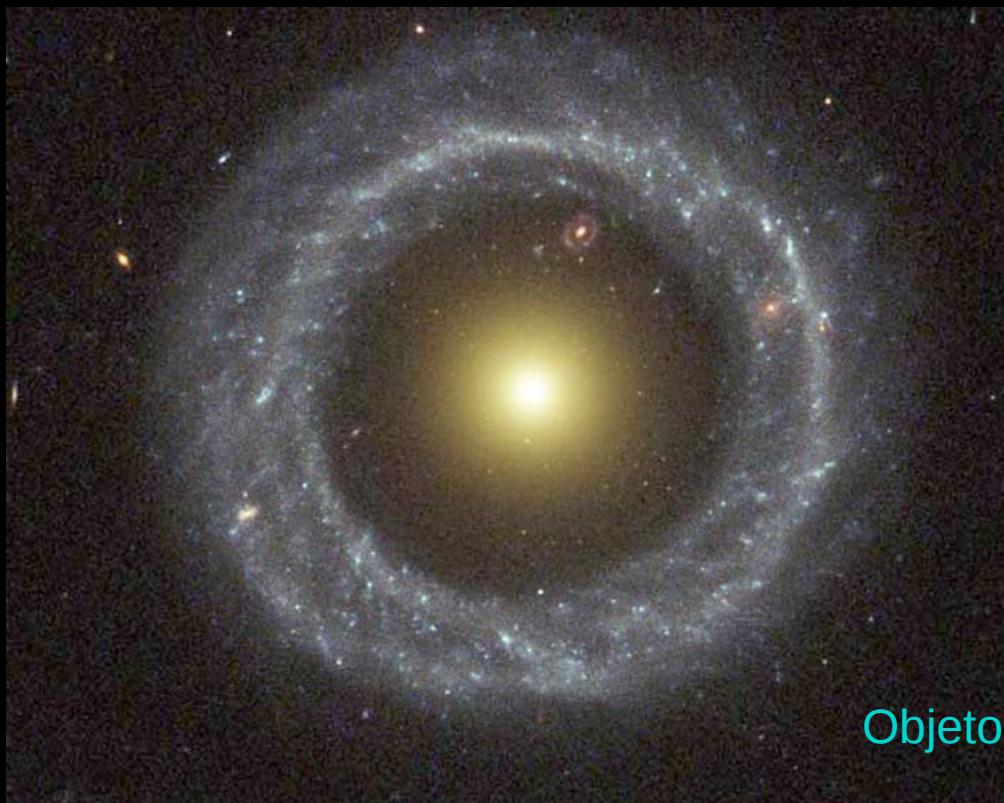
# Starburst Galaxy IC 10 (galáxia, anã, irregular)

Image Credit & Copyright: Dietmar Hager, Torsten Grossmann



# Anulares

- Peculiares que apresentam estrutura sob a forma de anel, na qual se observam estrelas azuis de alta massa. Sua formação é ainda desconhecida. Crê-se que tenham adquirido essa aparência em fusões com outras galáxias.



Objeto de Hoag



Ring Galaxy AM 0644-741 from Hubble

Image Credit: Hubble Heritage Team (AURA / STScI), J. Higdon (Cornell) ESA, NASA

# Galáxias interagentes

- Ao longo da vida das galáxias, várias fusões e interações podem ocorrer. Essas galáxias não são classificadas pelo esquema de Hubble.



A Galaxy Collision in NGC 6745

Image Credit: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration



Spiral Galaxy NGC 4038 in Collision

Image Credit: Data Collection: Hubble Legacy Archive; Processing: Danny Lee Russell

# Arp 87: Merging Galaxies from Hubble

Image Credit: NASA, ESA, Hubble Space Telescope; Processing: Douglas Gardner



NASA, ESA, Hubble  
Compilation: Douglas Gardner

# Merging NGC 2623

Image Credit: Hubble Legacy Archive, ESA, NASA; Processing - Martin Pugh



# Galaxies in the River

Credit & Copyright: Martin  
Pugh



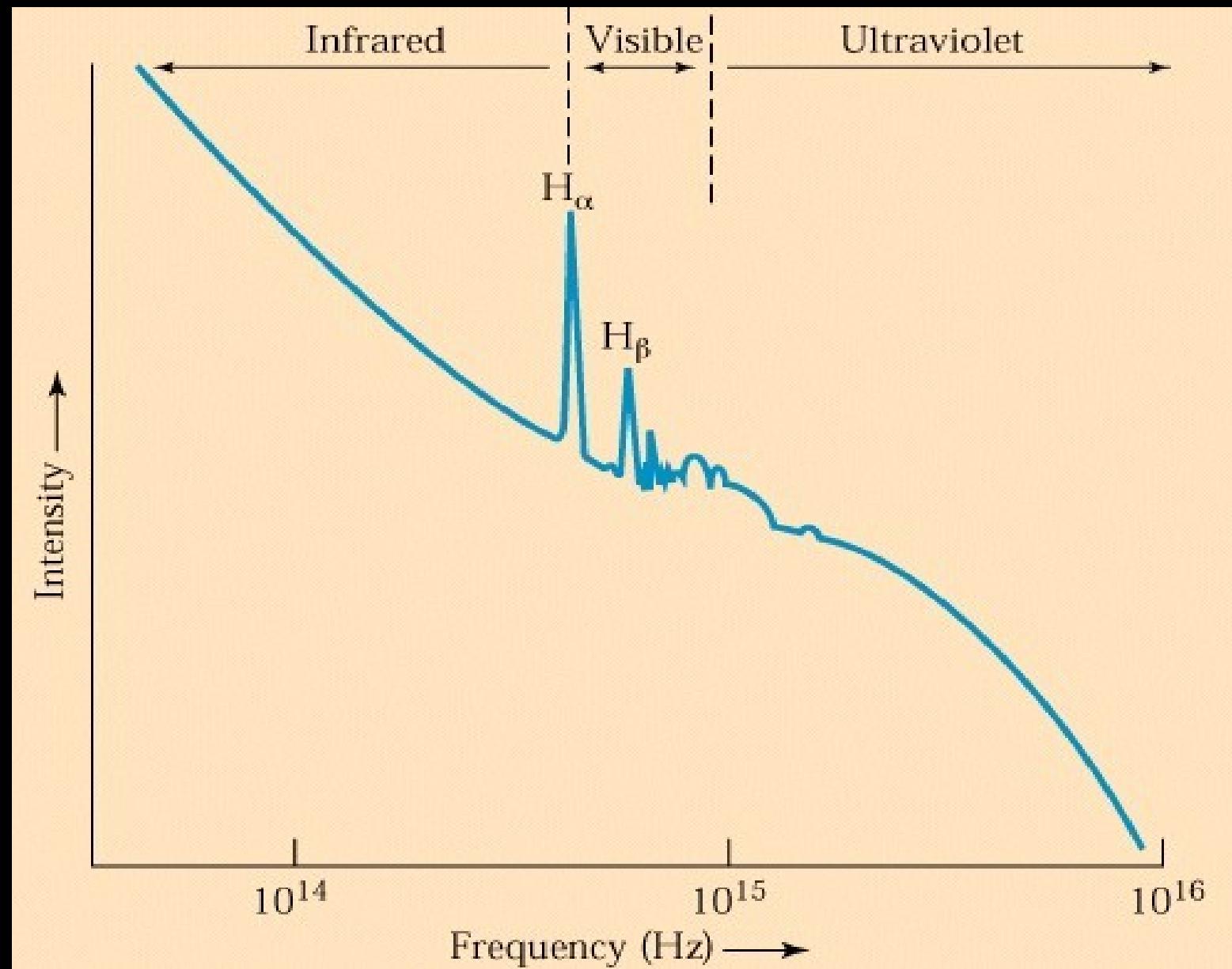
# Núcleos de Galáxias Ativas (AGNs)

- Galáxias ativas são aquelas que emitem muito mais radiação e em pequenas escalas espaciais do que galáxias normais.
- A distribuição espectral de energia de galáxias ativas não se assemelha a de uma galáxia comum, pois não há nada que lembre um corpo negro, como na distribuição espectral de energia das estrelas.

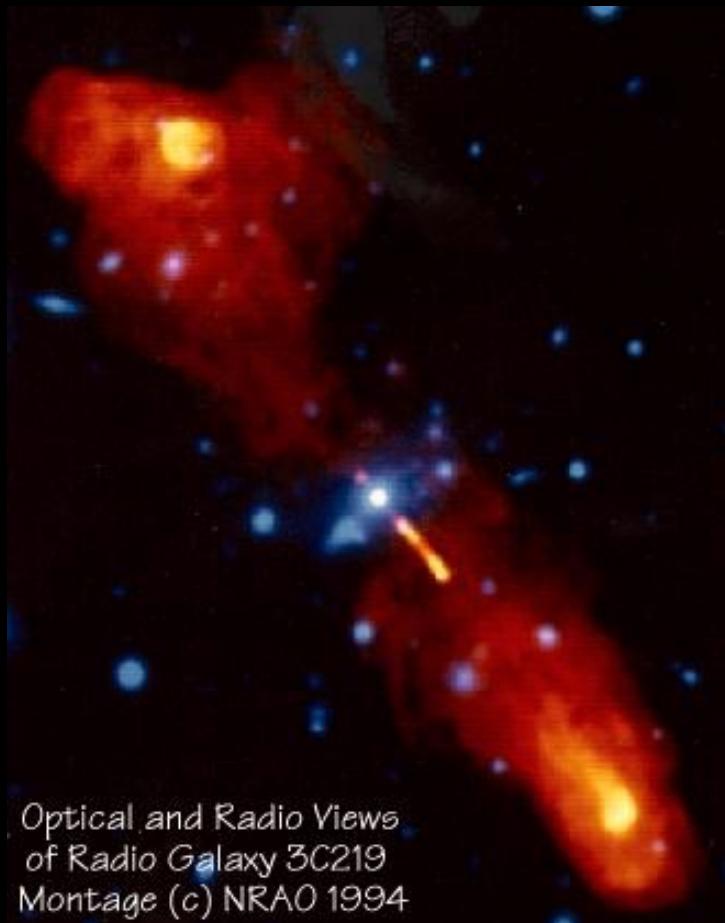
# Núcleos de Galáxias Ativas (AGNs)

- Acredita-se que sejam objetos extremamente compactos alimentados por acréscimo de gás ao redor de um buraco negro supermassivo no centro de uma galáxia hospedeira
- Há um enorme zoo de AGNs: Seyferts 1 e 2, Quasares, Blazares, LINERs, radiogaláxias, etc.

# Espectro de Galáxias Ativas (AGNs)



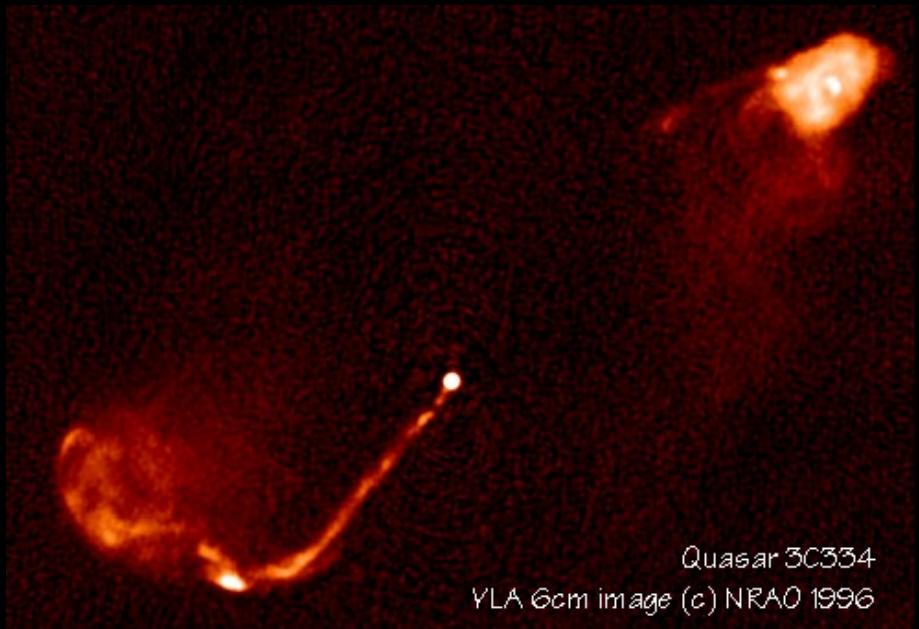
# Rádio Galáxias



São galáxias cujo núcleo emite fortemente em rádio; elas apresentam ainda lóbulos de rádio que se estendem conforme figura. A maioria das radiogaláxias são elípticas

# Quasar

- Aparência estelar, em geral identificado com o núcleo de uma galáxia elíptica
- brilho variável
- espectro com forte emissão de radiação ultravioleta e linhas emissão largas; em alguns casos, com linhas de absorção



# Galáxias Seyfert

- aparecem na luz visível como galáxias espirais normais com um **núcleo excessivamente brilhante**
- luminosidade do núcleo é comparável à de toda a galáxia
- núcleo tem linhas de emissão brilhantes, incluindo comprimentos de onda do visível

# NGC 6814: Grand Design Spiral Galaxy from Hubble

Image Credit: ESA/Hubble & NASA; Acknowledgement: Judy Schmidt (Geckzilla)



ESA/Hubble & NASA

Acknowledgement: Judy Schmidt



Data: NASA/ESO/NAOJ/Giovanni Paglioli  
Assembling and processing: R. Colombari and R. Gendler

## M106: A Spiral Galaxy with a Strange Center

Image Credit: NASA, ESO , NAOJ, Giovanni Paglioli; Assembling and processing: R. Colombari and R. Gendler

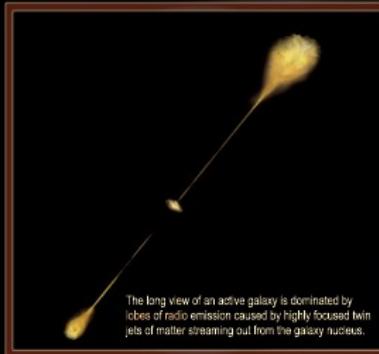
# Modelo Unificado para AGNs



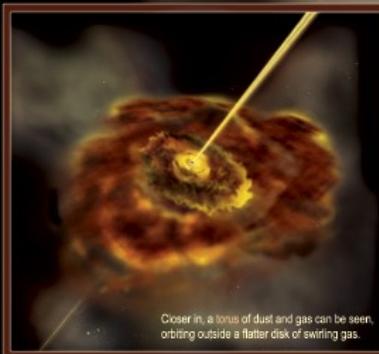
## ACTIVE GALAXIES



Zooming In On A Galaxy With Jets



The long view of an active galaxy is dominated by lobes of radio emission caused by highly focused twin jets of matter streaming out from the galaxy nucleus.



Closer in, a torus of dust and gas can be seen, orbiting outside a flatter disk of swirling gas.



In an extreme close-up, the black hole in the center is surrounded by a flat accretion disk of rapidly orbiting material. The jets are emitted at right angles from the plane of the disk, driven by physics still not well understood.

### What we see depends on how we view it ...

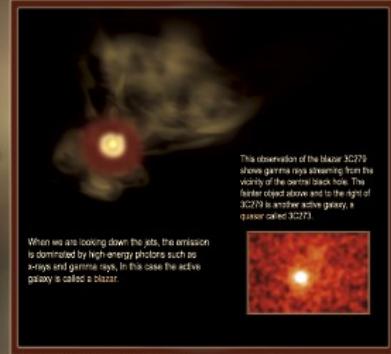
An active galaxy is one in which a tremendous amount of energy is emitted from the nucleus. Active galaxies take many forms; some have exquisitely bright nuclei pouring forth high-energy photons, some have high-energy nuclei but appear to be surrounded by a more-or-less "normal" galaxy, while some have long, narrow jets or beams of matter streaming out from the center. Displayed here is an illustration of an active galaxy that has jets. The nucleus of this galaxy contains a supermassive black hole -the engine that powers the phenomena we see. Following its launch, the Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST) will see thousands of these types of active galaxies.

All the images are artist's conceptions unless otherwise noted.



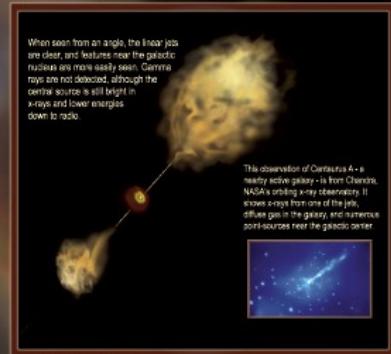
Viewing down the jet

Different Angles On A Galaxy With Jets



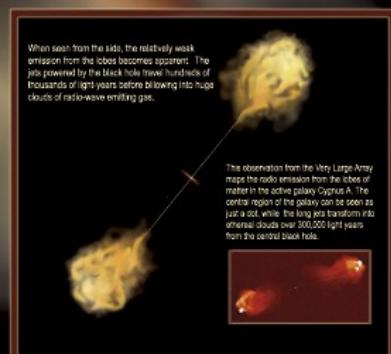
When we are looking down the jets, the emission is dominated by high-energy photons such as x-rays and gamma rays. In this case the active galaxy is called a blazar.

This observation of the blazar 3C279 shows gamma rays streaming from the vicinity of the central black hole. The blazar object above and to the right of 3C279 is another active galaxy, a quasar called 3C273.



Viewing at an angle to the jet

The observation of Centaurus A is a nearby active galaxy is from Chandra, NASA's orbiting X-ray observatory. It shows the central source and the diffuse gas in the galaxy, and numerous point-sources near the galactic center.



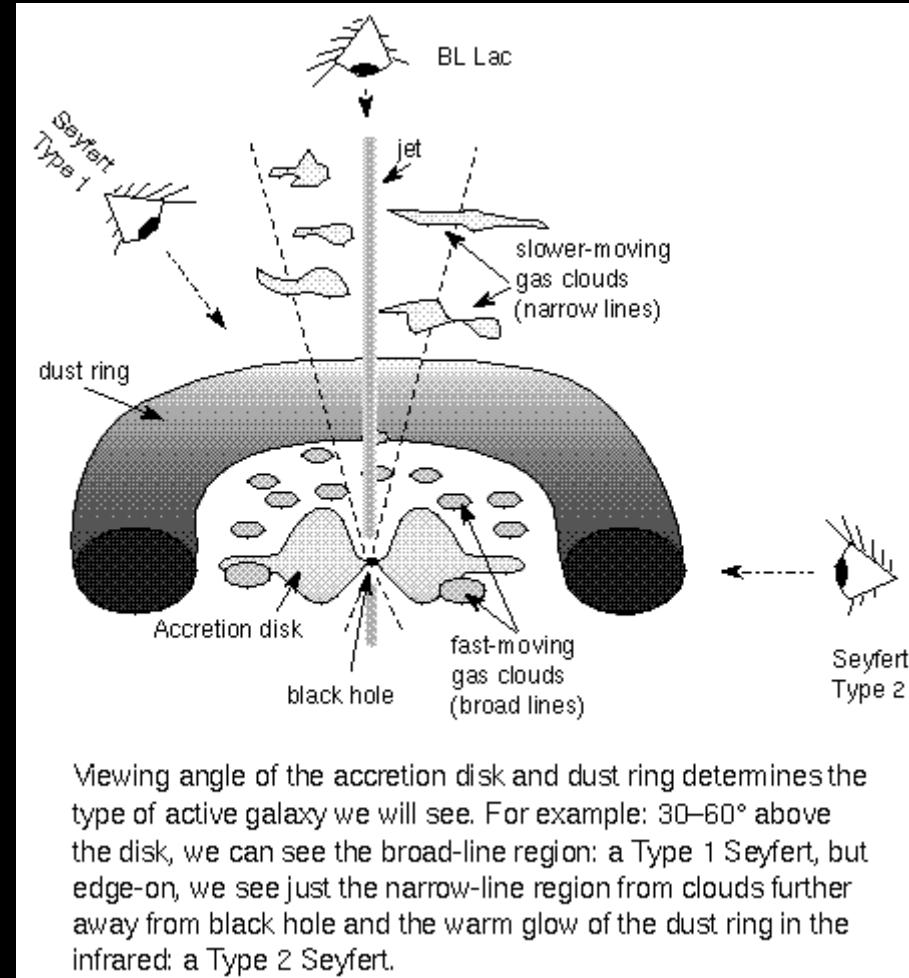
Viewing at 90° from the jet

When seen from the side, the relatively weak emission from the lobes becomes apparent. The jets powered by the black hole travel hundreds of thousands of light years before colliding with huge clouds of radio-wave emitting gas.

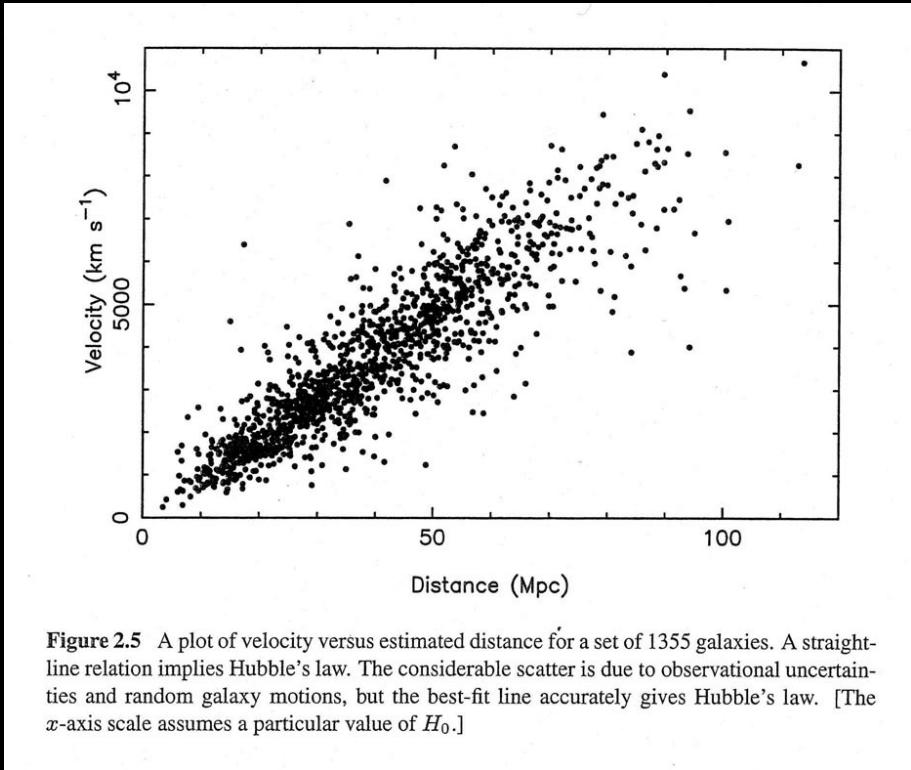
The observation from the Very Large Array radio telescope shows the radio-emitting matter in the active galaxy Cygnus A. The central region of the galaxy can be seen as just a dot, while the long jets transform into several clouds over 300,000 light years from the central black hole.



# Modelo unificado



# Lei de Hubble

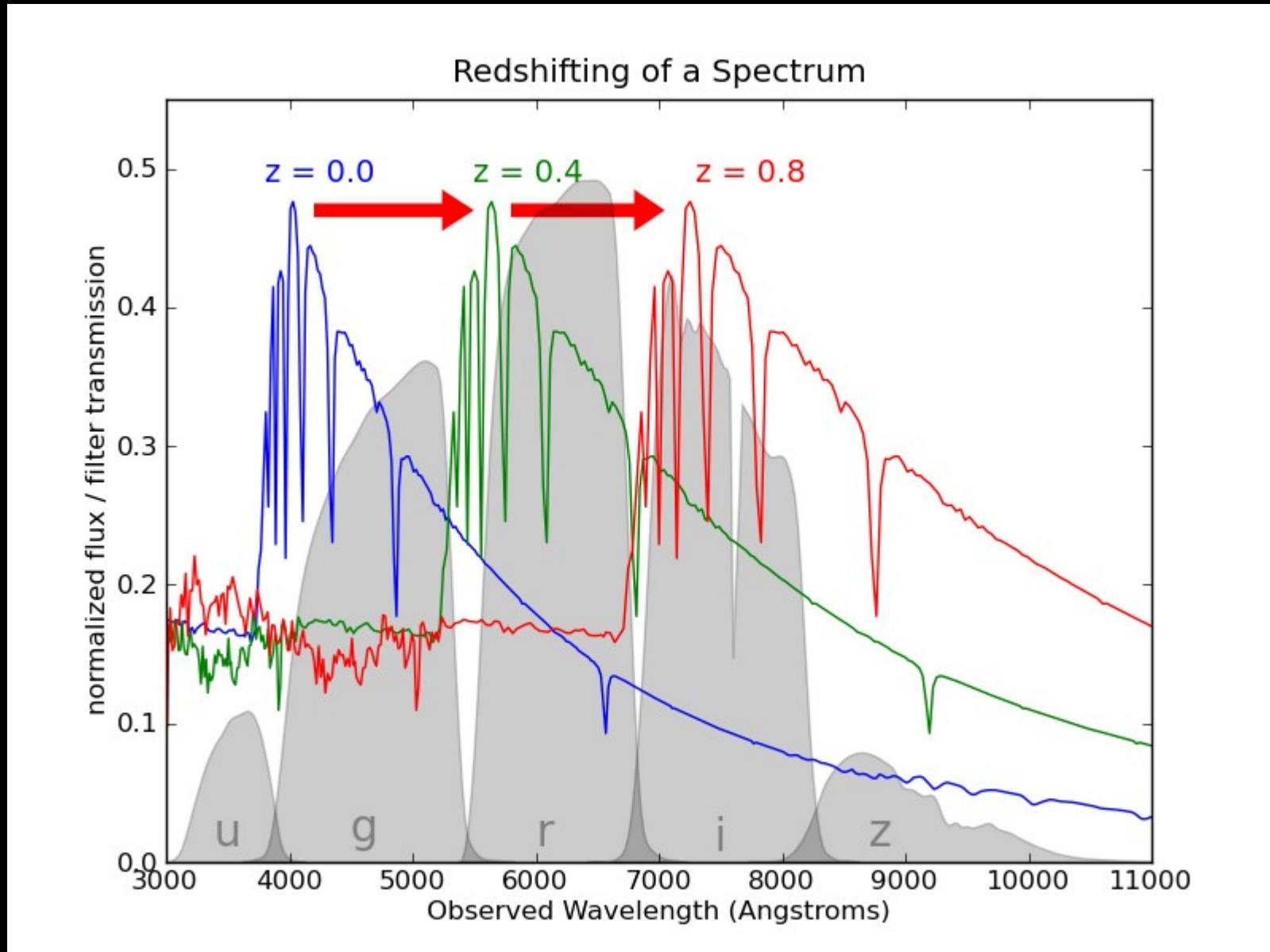


**Figure 2.5** A plot of velocity versus estimated distance for a set of 1355 galaxies. A straight-line relation implies Hubble's law. The considerable scatter is due to observational uncertainties and random galaxy motions, but the best-fit line accurately gives Hubble's law. [The  $x$ -axis scale assumes a particular value of  $H_0$ .]

Descoberta nos anos 20, a Lei de Hubble implica em que cada galáxia se afasta uma da outra.

Ela levou à constatação da Expansão do Universo

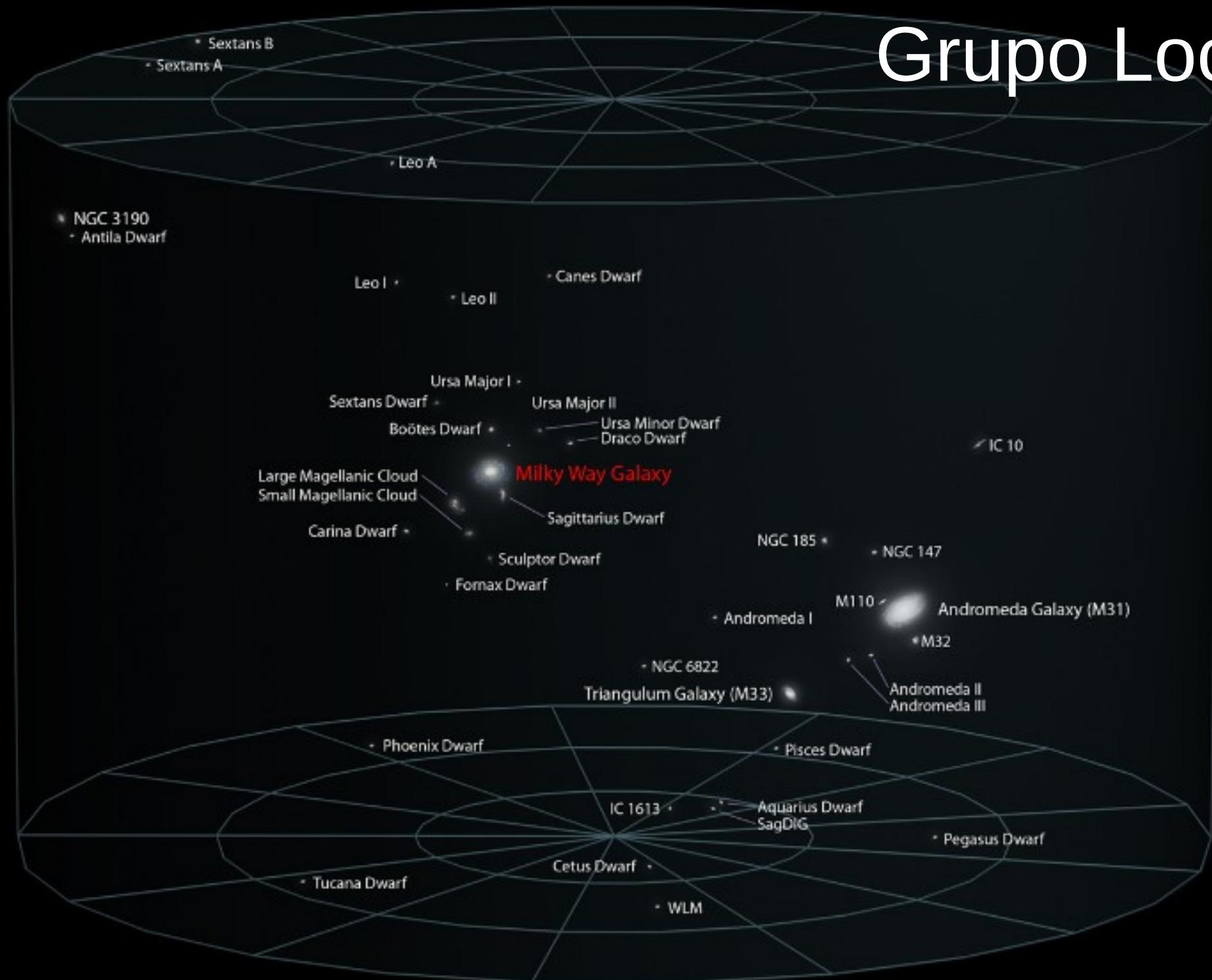
# Desvio para o vermelho - redshift



# Estruturas formadas pelas galáxias

- Grupos
- (10's de galáxias)
  - ~ 1000 catalogados
  - tamanho: ~ 1 Mpc
  - massa:  $2-5 \times 10^{12} \text{ Msol}$
  - $\sigma \sim 200 \text{ km/s}$
- Aglomerados
- (100's - 1000's de galáxias)
  - ~ 3000 catalogados
  - tamanho: 5-10 Mpc
  - massa:  $10^{15} \text{ Msol}$
  - $\sigma \sim 1000 \text{ km/s}$
  - uma ou mais gigantes elípticas no centro, espirais na periferia
  - 10-20% da massa é de gás quente ( $10^{7-8} \text{ K}$ )

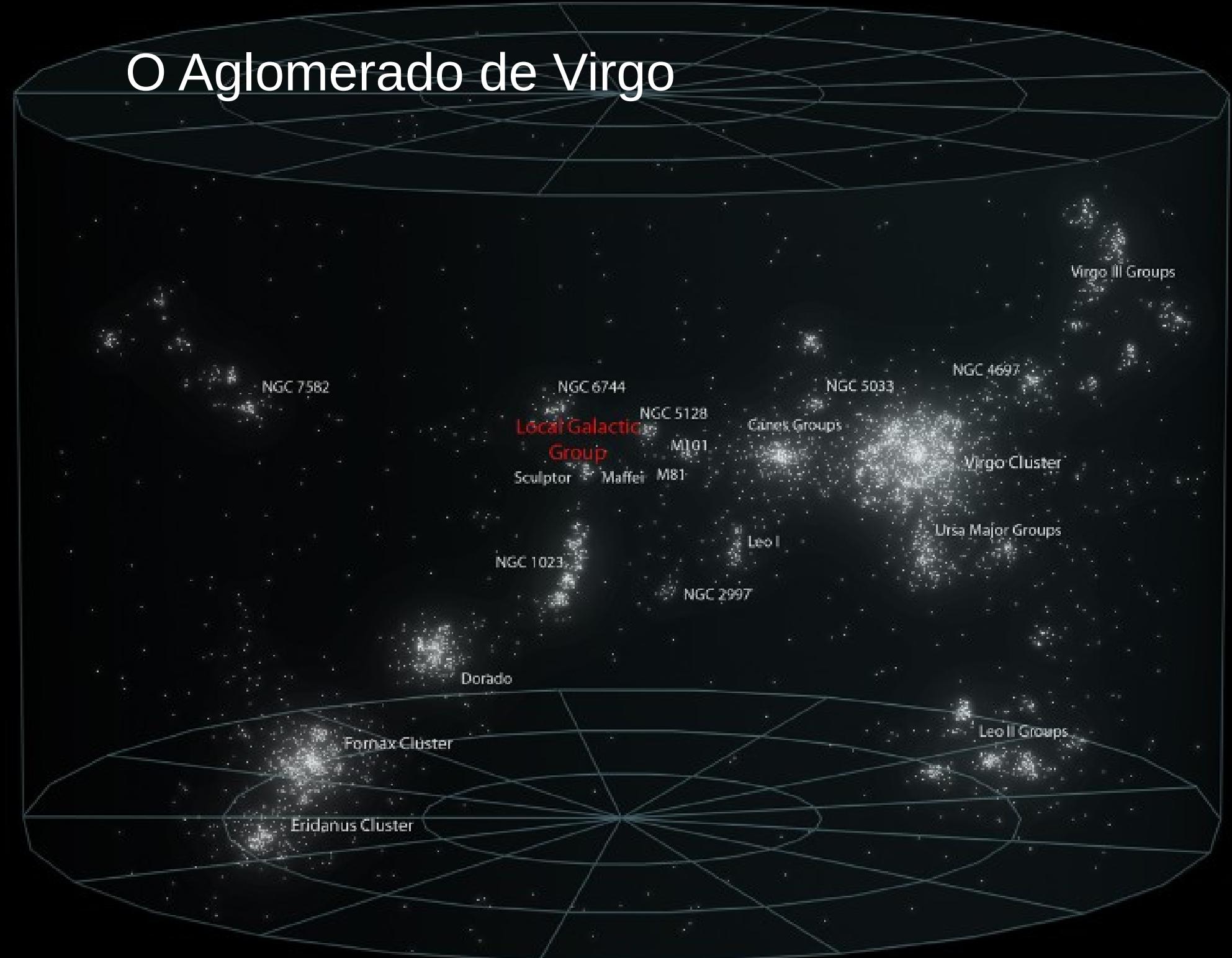
# Grupo Local



# O Aglomerado de Virgo



# O Aglomerado de Virgo



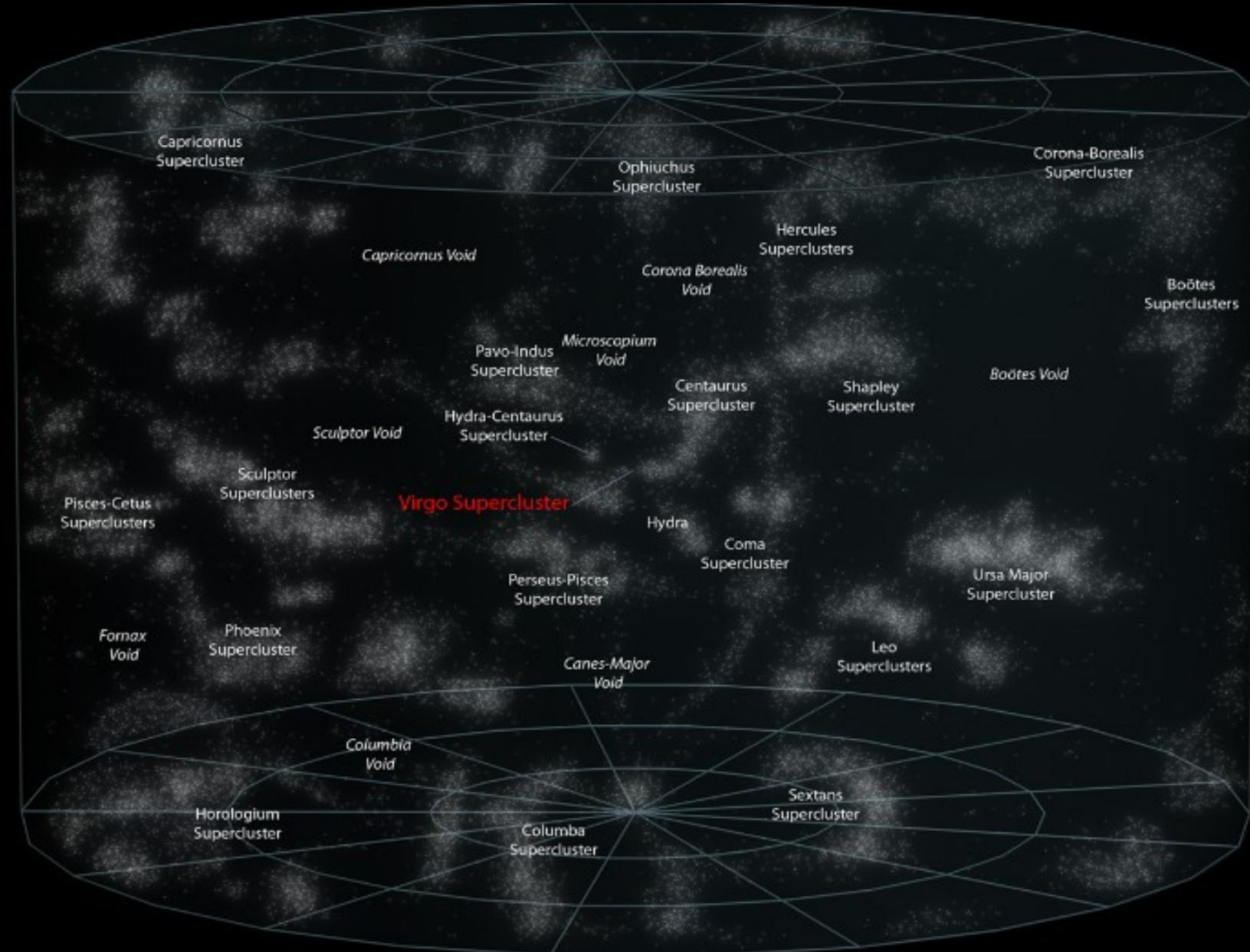
# The Fornax Cluster of Galaxies

Image Credit: European Southern Observatory

Acknowledgment: Aniello Grado and Luca Limatola



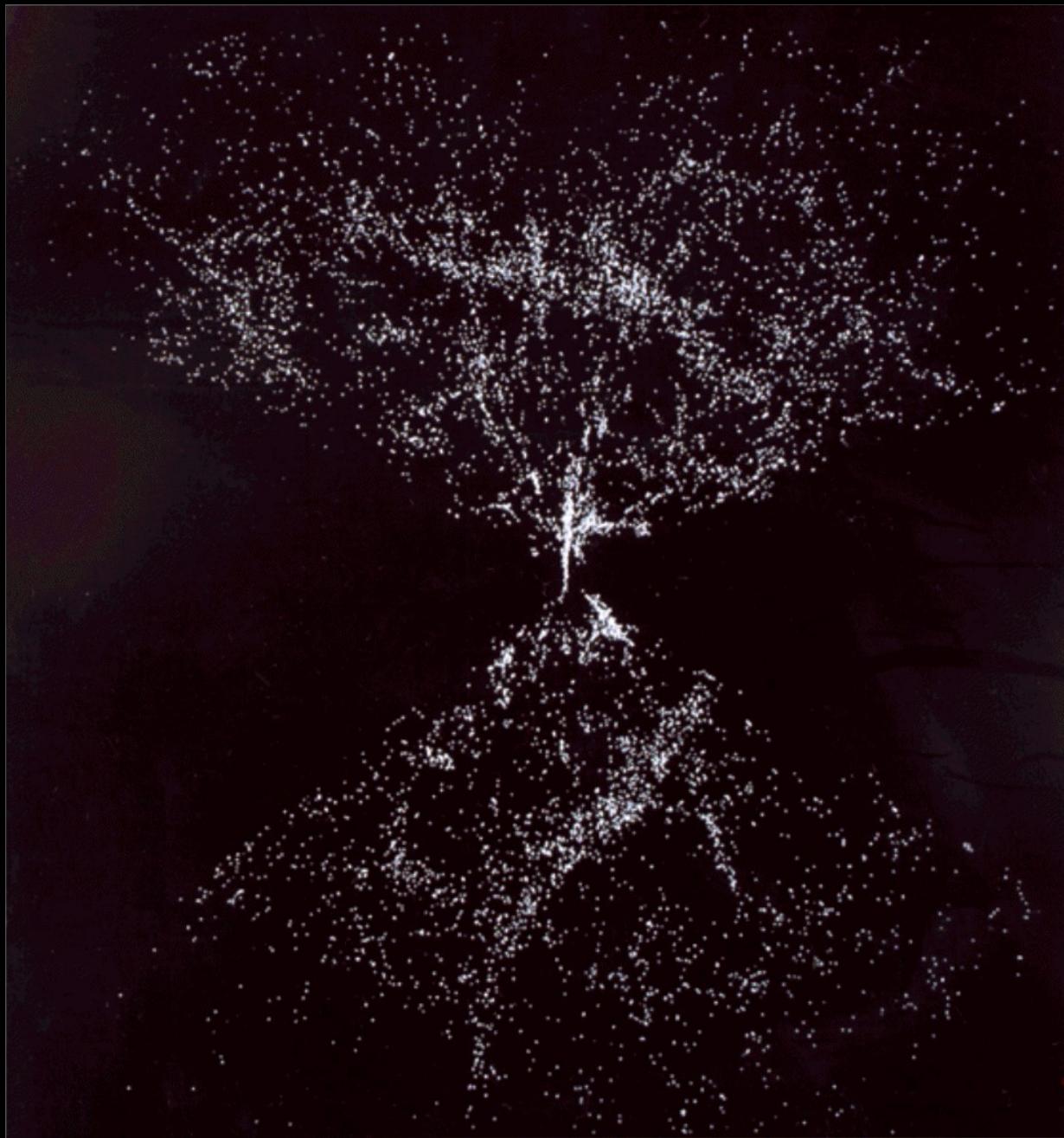
# Superaglomerado Local

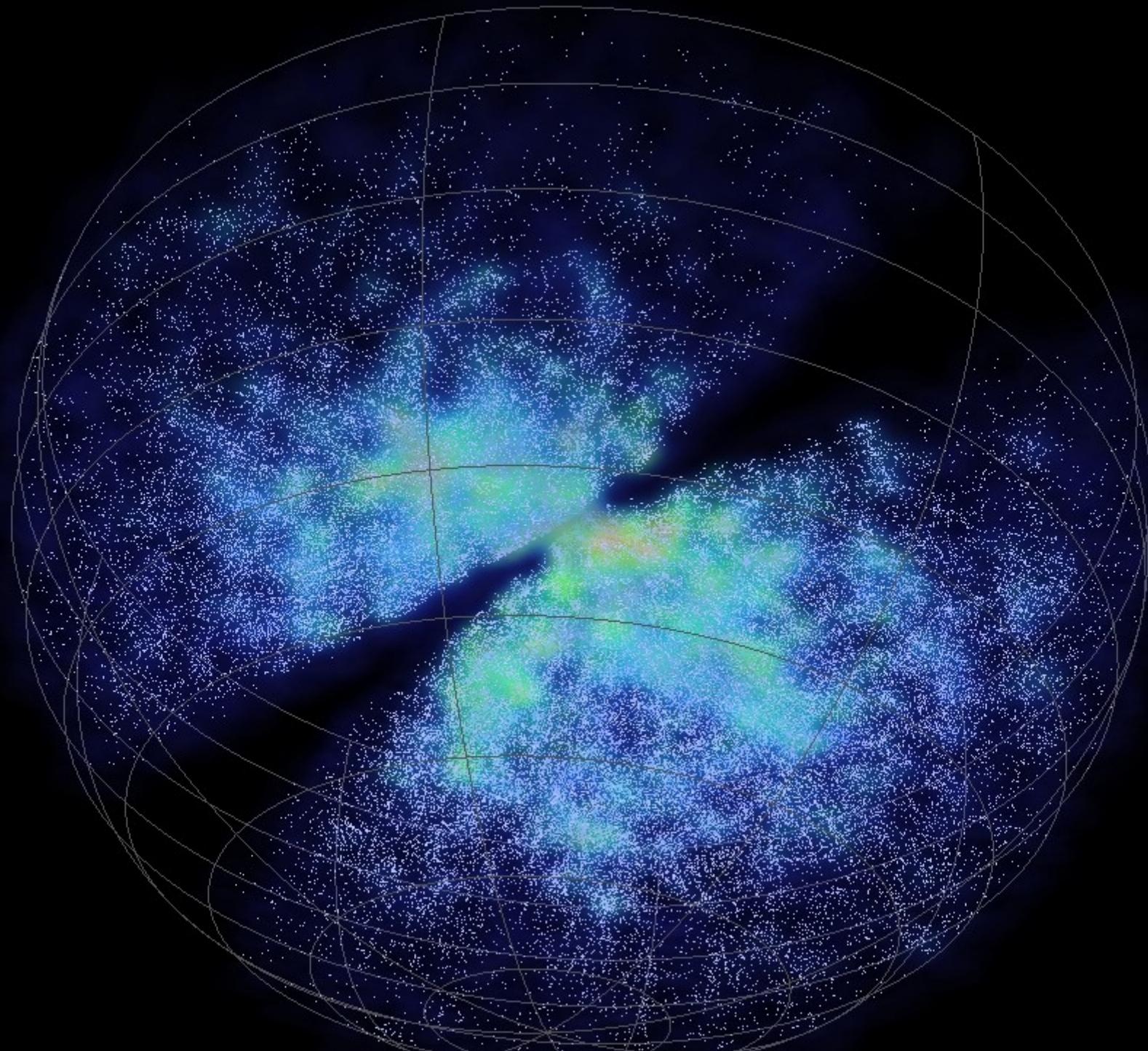


# Estruturas em grande escala

- **Superaglomerados**
  - tamanho: até  $\sim 100$  Mpc
  - massa:  $10^{16}$  Msol
  - 90% das galáxias aí localizadas
- **Filamentos**
- **Paredes**
  - Grande Muralha: 100 Mpc de diâmetro a uma distância de 100 Mpc
- **Buracos (Voids)**
  - diâmetro típico de 25 Mpc
  - 90-95% de espaço vazio

# Estrutura em grande Escala

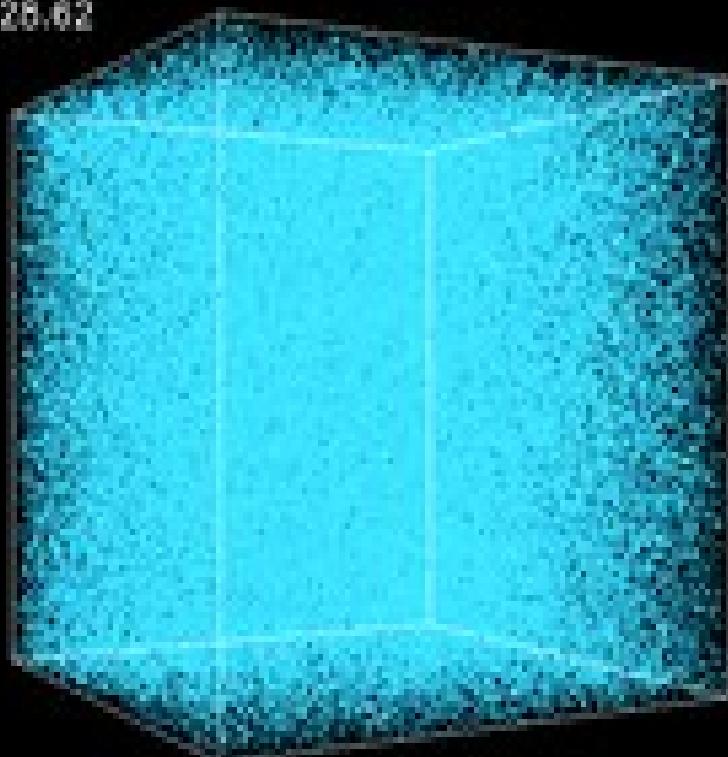




Distribuição espacial de 100 mil galáxias próximas determinado pela Busca de Galáxias 6df, na Austrália. Cada galáxia é representada por um ponto. Nossa Galáxia está no centro da distribuição e a faixa onde não foram observadas galáxias indica o disco de nossa Galáxia (Chris Fluke, Centre for Astrophysics and Supercomputing, Swinburne University of Technology).

# Formação de estruturas no Universo

$z=28.62$

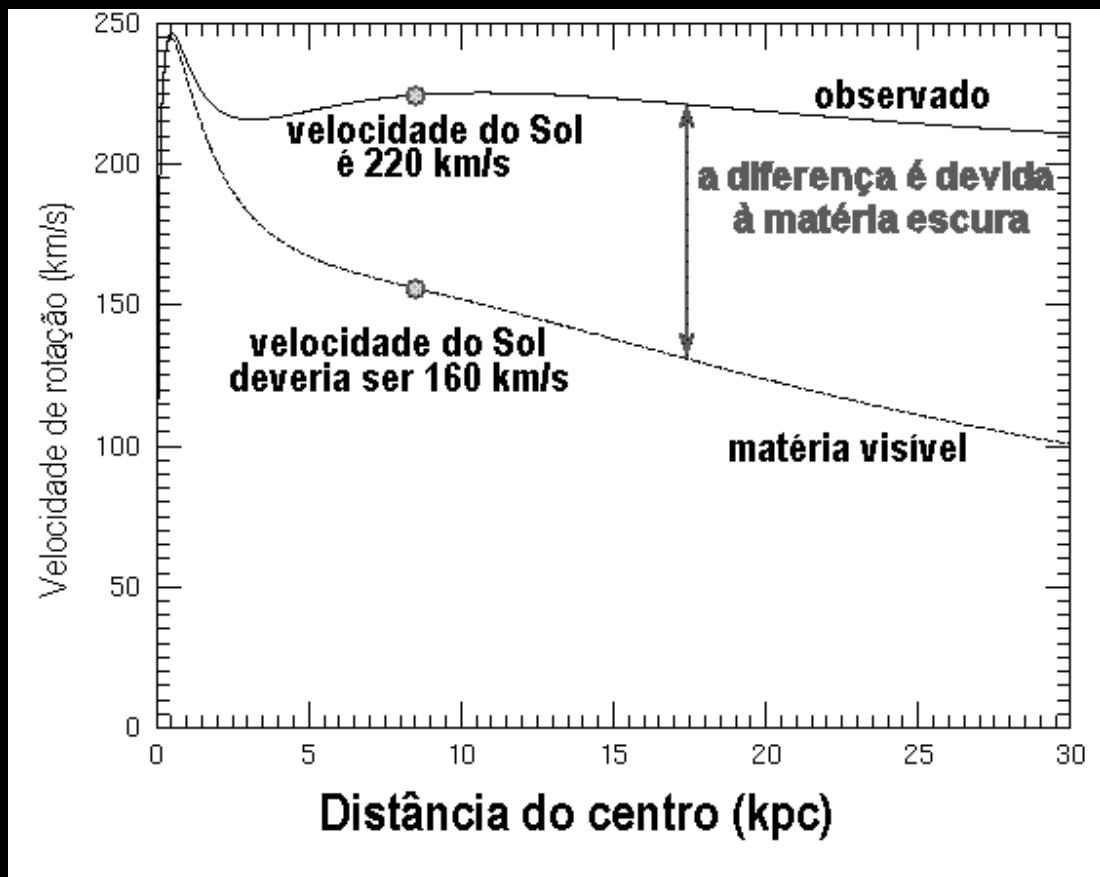


Modelos de matéria escura fria possuem grande êxito na formação de estruturas no Universo jovem.

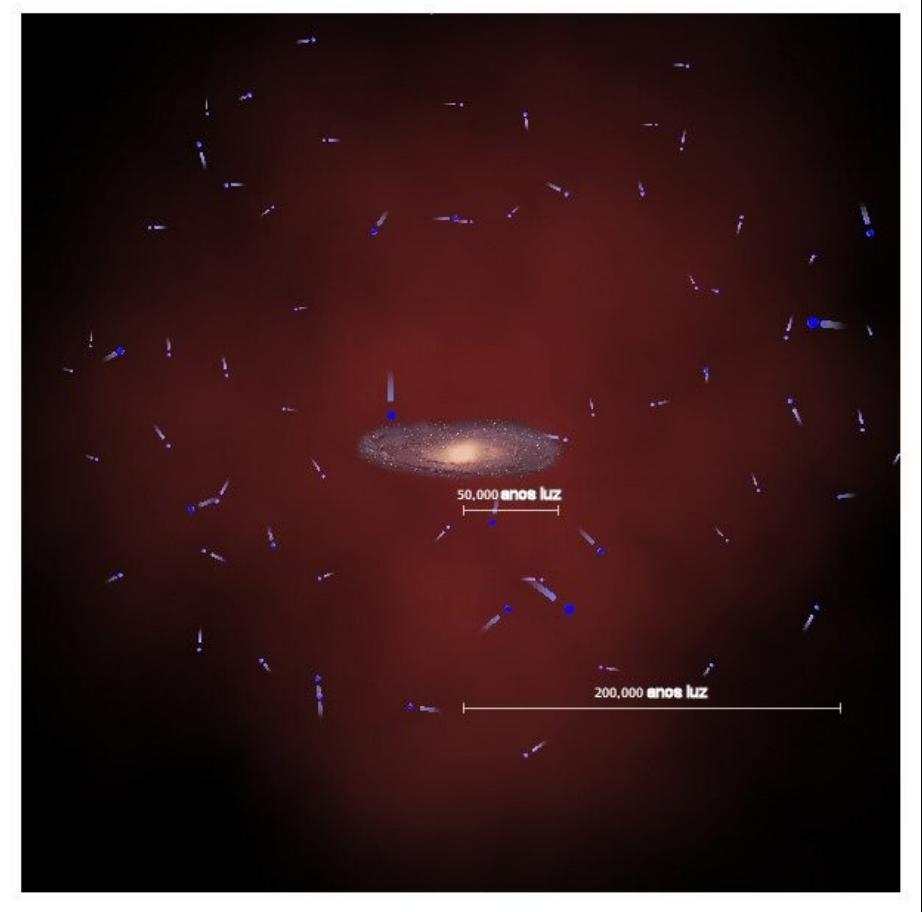
A matéria escura semeia flutuações de densidade que determinarão a distribuição de matéria bariônica no Universo em expansão.

A formação de galáxias ocorre de forma hierárquica, através da continuada agregação de unidades menores.

# A matéria escura na Via Láctea



De acordo com a curva de rotação da Galáxia, há uma quantidade substancial de massa não luminosa ainda por ser identificada.

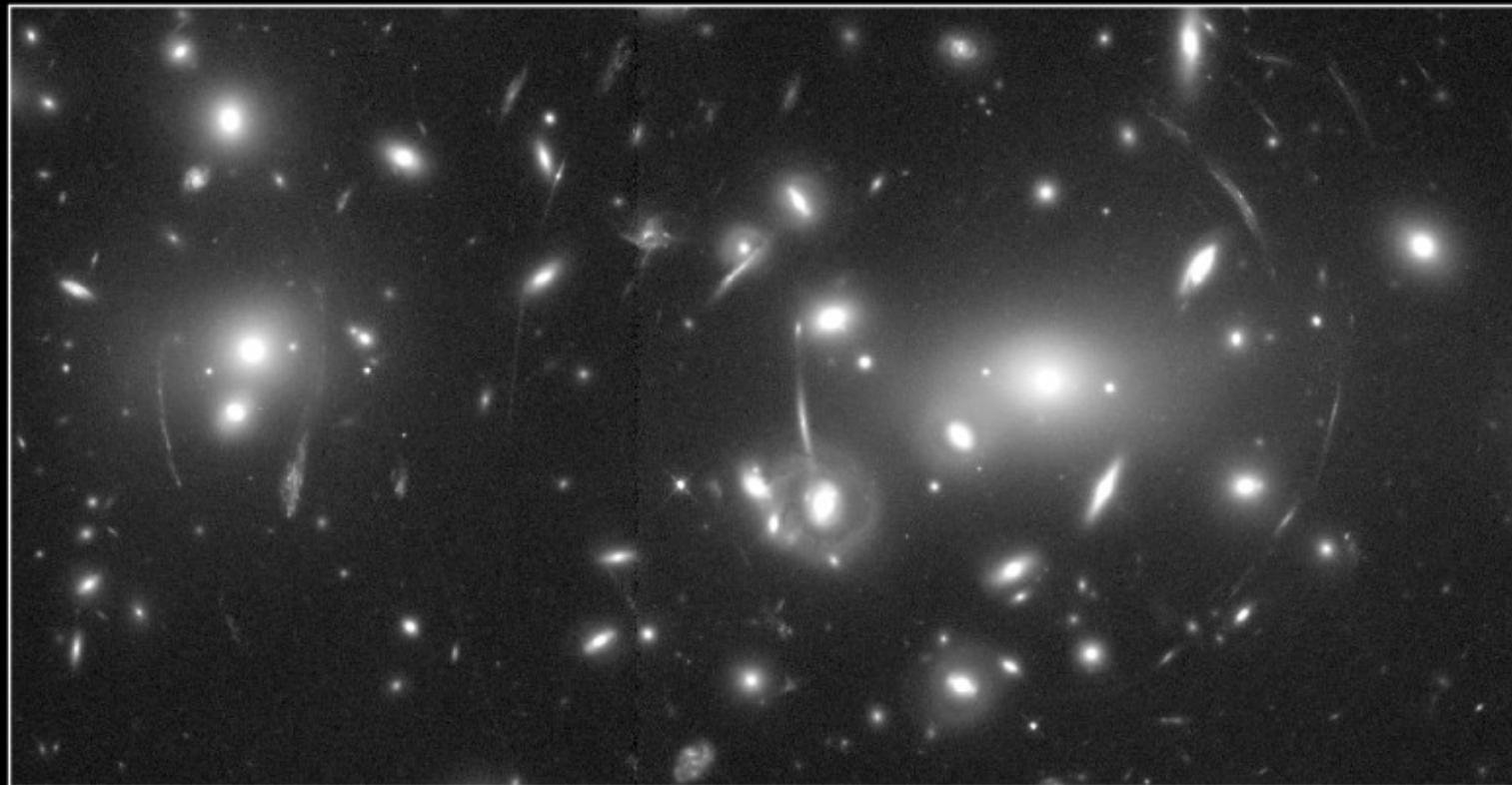


Essa massa, que só interage pela gravidade, ainda não foi detectada

A curva de rotação aumenta ligeiramente para distâncias maiores, o que implica que a quantidade de massa continua a crescer.

A velocidade de rotação, à distância de 40 kpc, corresponde a uma massa de  $6 \times 10^{11}$  MSol, o que só pode ser explicado considerando que nossa Galáxia contém matéria não-visível que se estende muito além da matéria visível, e que constitui, no mínimo, **dois terços da massa total da Galáxia**.

# Evidências de matéria escura em grande escala



**Gravitational Lens in Abell 2218**

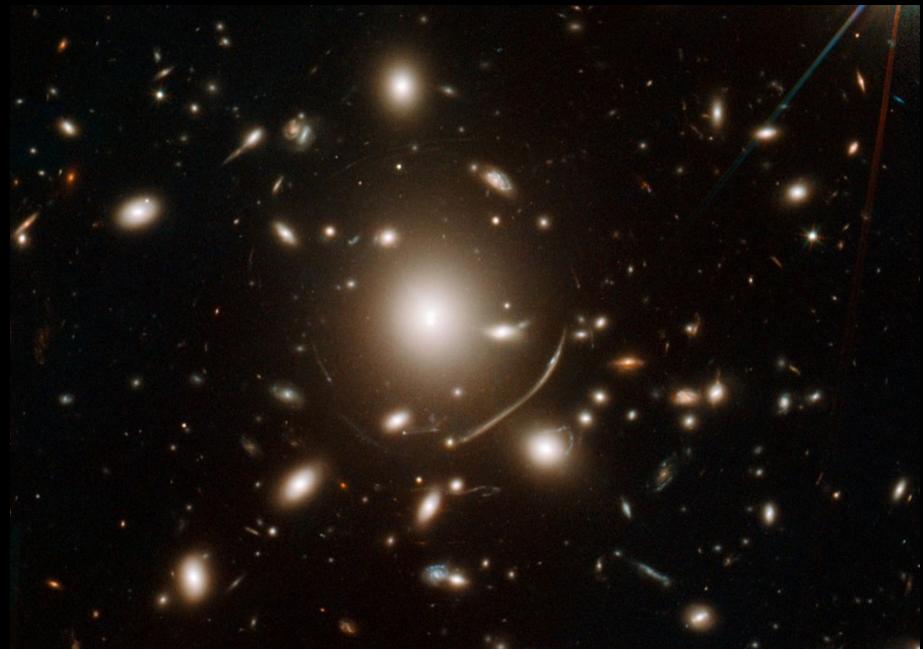
PF95-14 · ST Scl OPO · April 5, 1995 · W. Couch (UNSW), NASA

HST · WFPC2

Lentes gravitacionais

# Lentes gravitacionais

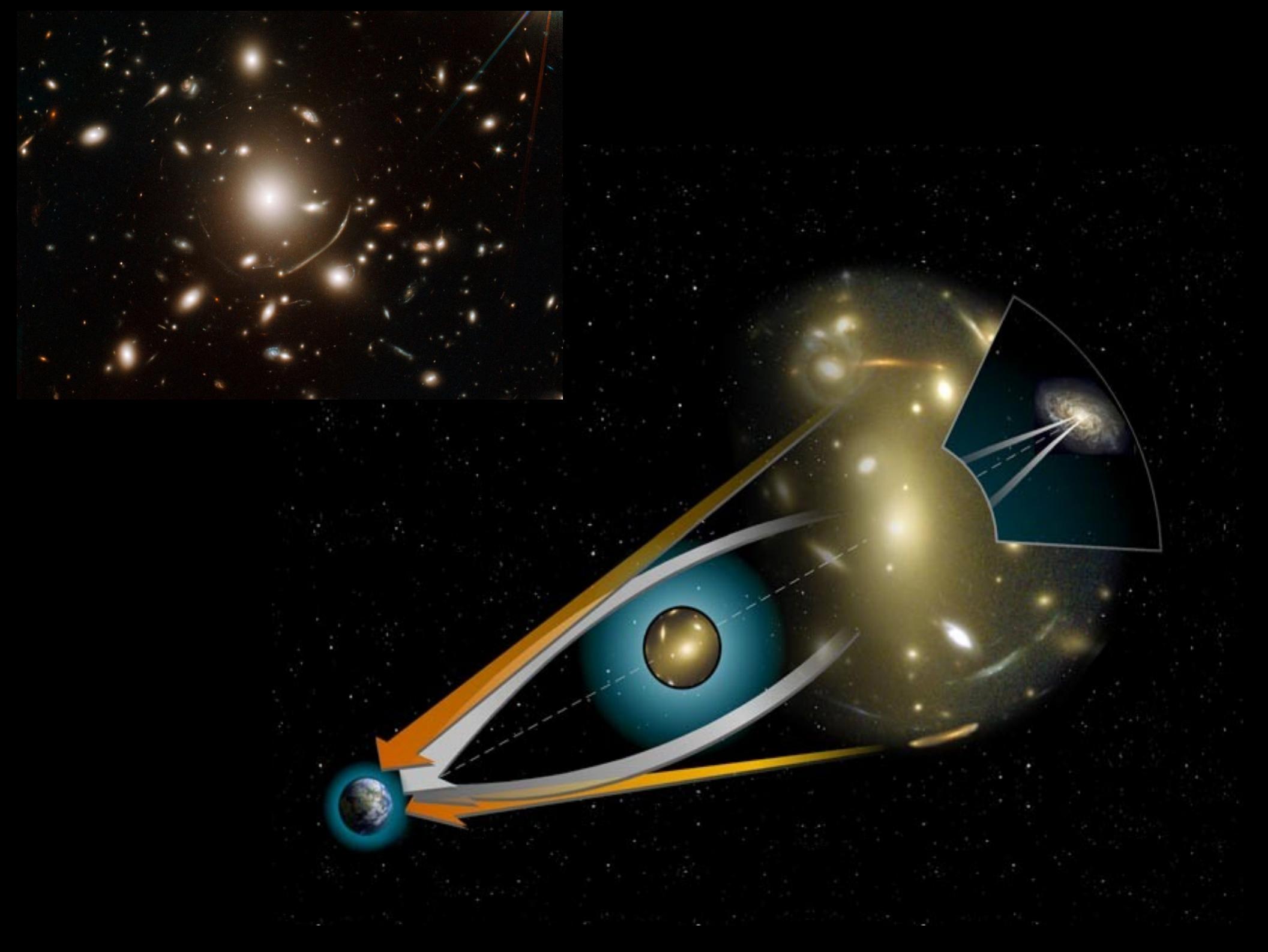
- O fenômeno das lentes gravitacionais fica mais evidente quando há grandes concentrações de massa, como em superaglomerados de galáxias.



# Lentes gravitacionais



- A forma da imagem lenteada depende da posição relativa do objeto com respeito à distribuição de massa que cria a lente gravitacional. Em alguns casos, a imagem fica com aspecto de arco.





# Gravity's Grin

Image Credit: X-ray - NASA / CXC / J. Irwin et al. ; Optical - NASA/STScI

# A evolução das galáxias

Nos últimos 20 anos, o uso de telescópios modernos, que permitem estudar galáxias a grandes distâncias, têm fornecido vários vínculos observacionais para o estudo da evolução das galáxias.

Observando galáxias remotas, os astrônomos constataram que no passado havia um grande número de galáxias pequenas, irregulares e com uma taxa muito alta de formação estelar, que não existem no Universo atual, sugerindo que elas se fundiram posteriormente dando origem a galáxias maiores.

# A evolução das galáxias

- Até o momento não existe uma teoria que dê conta de todos os aspectos observacionais para explicar como as galáxias se formaram e evoluíram até o presente, muito menos uma teoria que possa prever sua evolução futura.
- Provavelmente acontece tanto a formação monolítica, em galáxias isoladas, quanto a hierárquica, em aglomerados de galáxias.