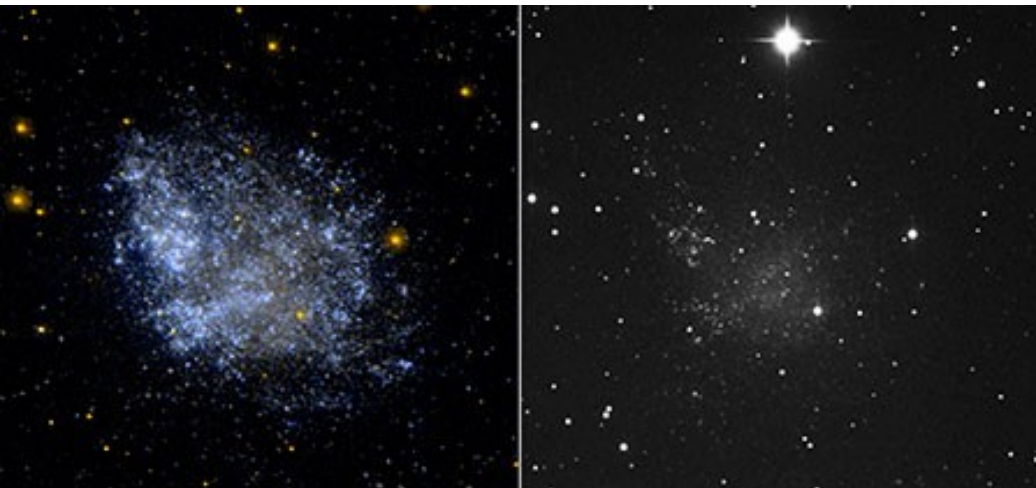


3. Classificação de Galáxias



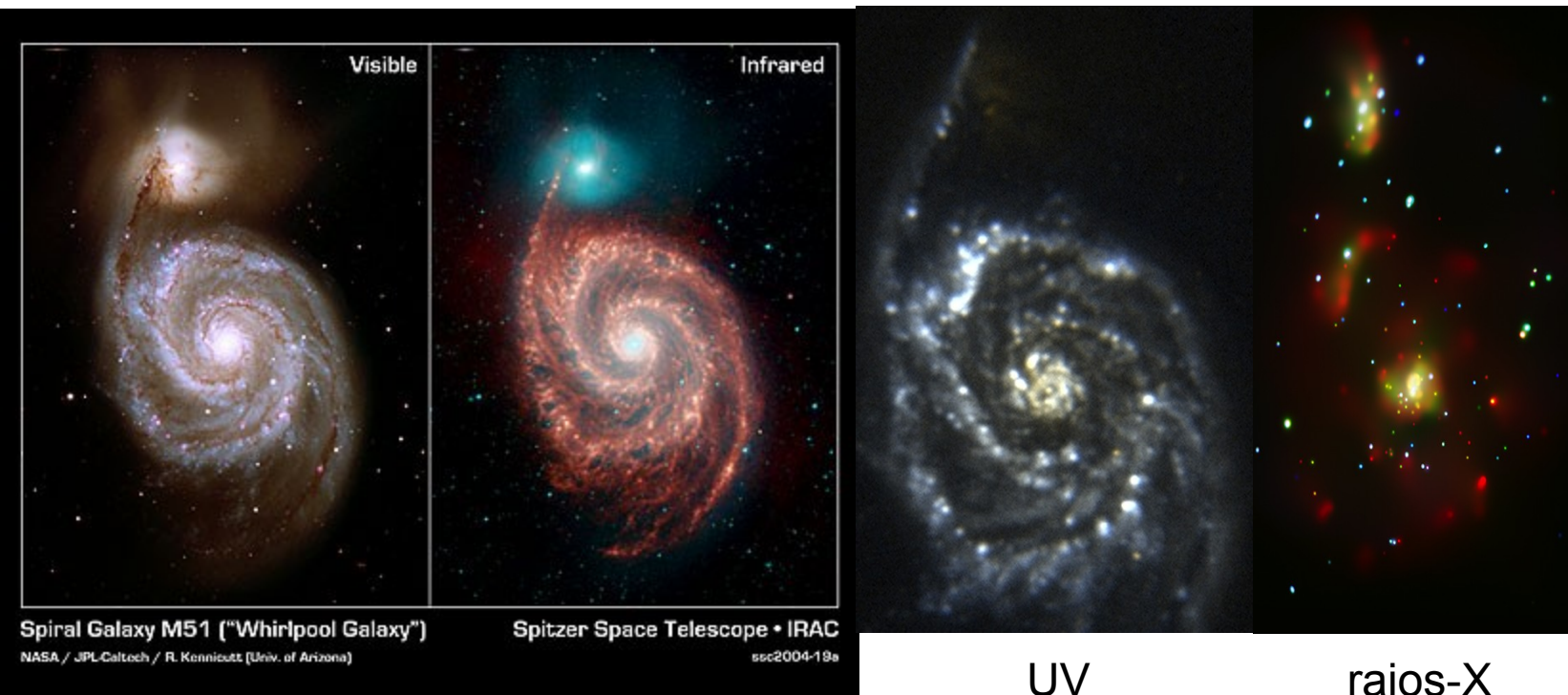
Comentários iniciais:

- Galáxias existem em grande variedade de formas, tamanhos e luminosidades
- A forma de uma galáxia depende do comprimento de onda em que ela é observada – isso é particularmente importante para a interpretação de galáxias distantes: devido ao desvio para o vermelho, imagens óticas podem corresponder à emissão UV no referencial de repouso da galáxia



Ultraviolet image (left) and visual image (right) of the irregular dwarf galaxy IC 1613. Low surface brightness galaxies, such as IC 1613, are more easily detected in the ultraviolet because of the low background levels compared to visual wavelengths.

M51 em vários comprimentos de onda



Comentários iniciais:

- A forma de uma galáxia em uma imagem depende do intervalo dinâmico, nível isofotal e resolução da imagem: por exemplo, numa exposição breve, só se detecta as regiões mais brilhantes de uma galáxia; regiões de baixo brilho superficial exigem exposições longas

Diferentes maneiras de se exibir a mesma imagem de NGC 5866 (M102), variando as propriedades do display



Diferentes maneiras de se
exibir a mesma imagem de
NGC 5866 (M102), variando
as propriedades do display



Imagem do HST



Constituição das galáxias

- As galáxias são constituídas de, principalmente, 3 coisas:
 - *Estrelas*
 - *Gás e poeira*
 - *Matéria escura*

Numa galáxia como a Via Láctea, por exemplo, a proporção em massa entre esses componentes é aproximadamente 10:1:100

Componentes estruturais das galáxias

- Uma galáxia como a Via Láctea tem 2 componentes principais:
 - *componente esferoidal*: núcleo, bojo, halo
 - *componente disco*: disco fino, disco grosso, barra, braços espirais (a formação estelar geralmente ocorre nos discos)

A matéria escura tem também uma distribuição esferoidal

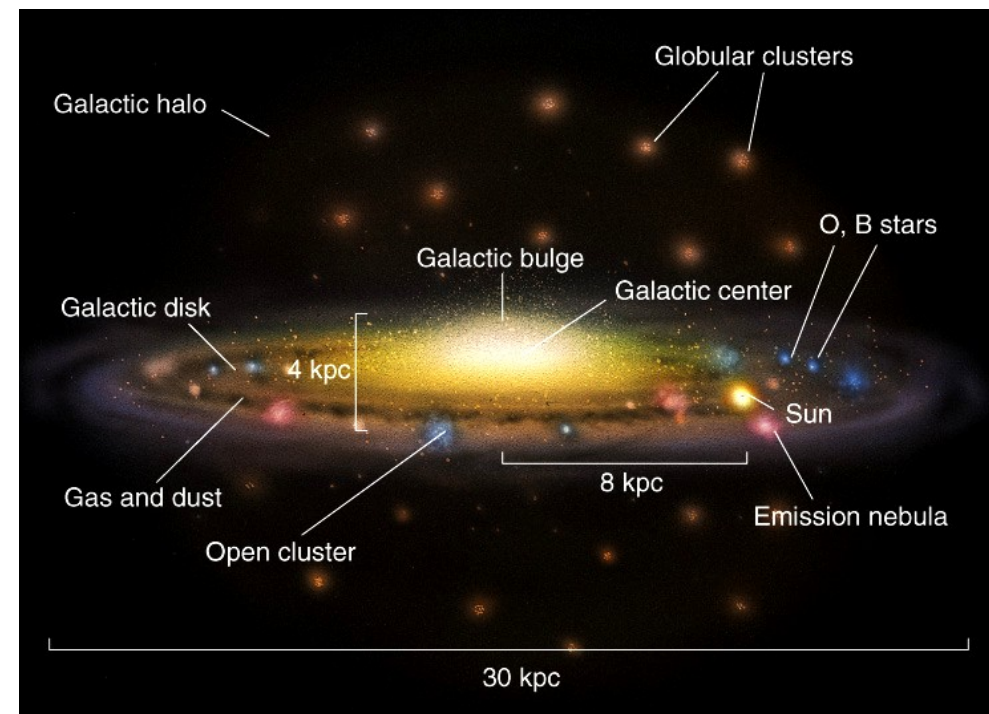


Componentes estruturais da Via Láctea: componente esferoidal

- Núcleo: raio ~ 3 pc
buraco negro supermassivo no centro: $M = 3.4 \times 10^6 M_{\odot}$
- Bojo: $r \sim 3$ kpc
- Halo: $r \geq 30$ kpc (onde termina o halo?)
- Constituintes típicos: estrelas, aglomerados globulares, galáxias satélites
- Objetos geralmente velhos: idades > 10 bilhões de anos (estrelas com mais de $0.8 M_{\odot}$ já saíram da Sequência Principal)

núcleo: apresenta formação estelar intensa

- Gradiente de metalicidade (Z) elevado:
halo: $Z \sim 10^{-3} - 10^{-2} Z_{\odot}$
núcleo: $Z > Z_{\odot}$
- Órbitas das estrelas: excêntricas, quase radiais
- Equilíbrio: a pressão do movimento caótico das estrelas sustenta a atração gravitacional cinematicamente “quente”



Componentes estruturais da Via Láctea: componente disco

- Plano da Via Láctea: braços espirais, barra, estrelas jovens e velhas, gás, poeira
- Raio do disco estelar: ~ 15 kpc
- Raio do disco gasoso $>$ raio do disco estelar
- *Warp*: o disco é distorcido (como Andrômeda)
- Espessura: fino!

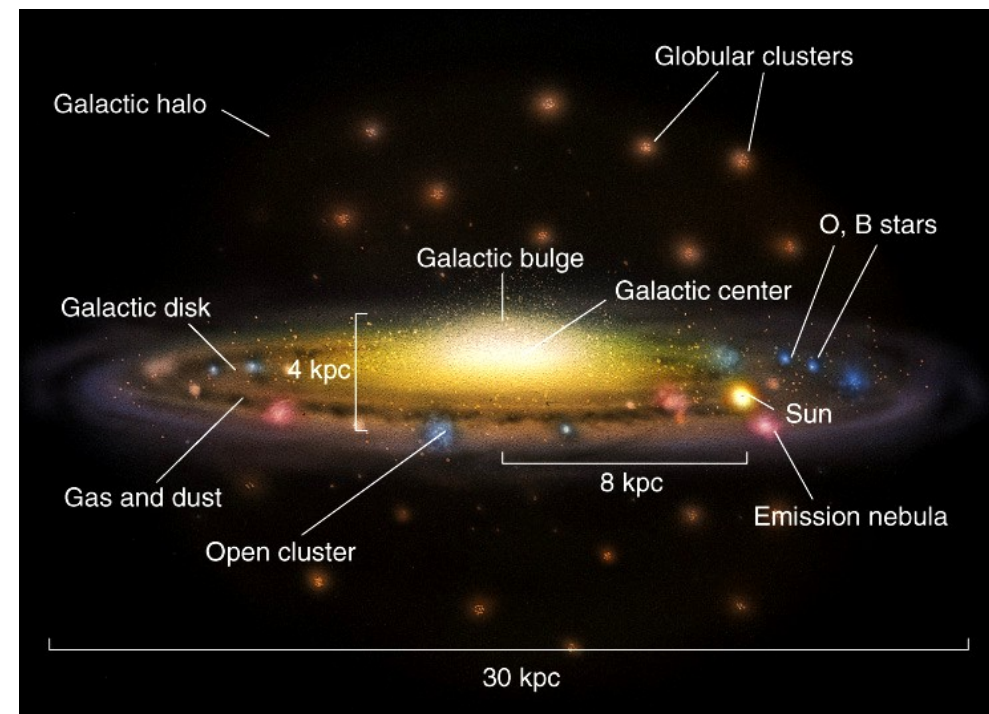
H: escala de altura

H ~ 60 pc para as nuvens moleculares

H ~ 200 pc para estrelas O-B

H ~ 700 pc para estrelas tipo G (Sol)

- Apresenta braços espirais e uma barra
- Equilíbrio: rotação do disco
cinematicamente “frio”



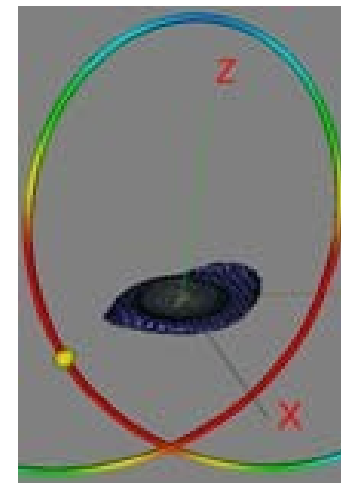
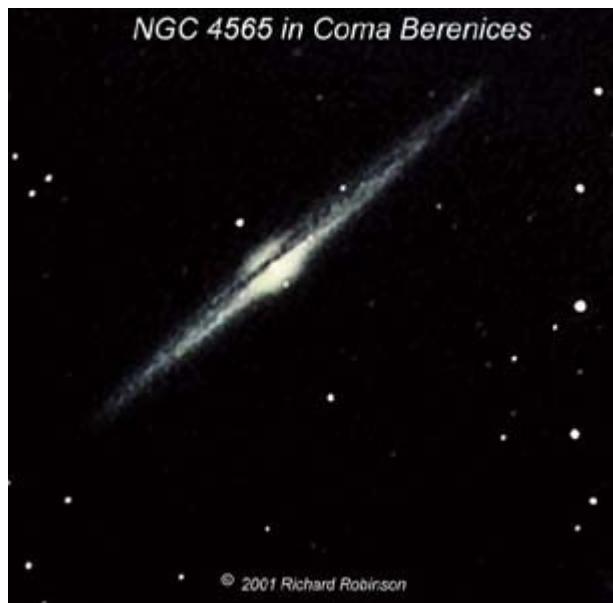
Os discos das espirais são geralmente finos



NGC5866

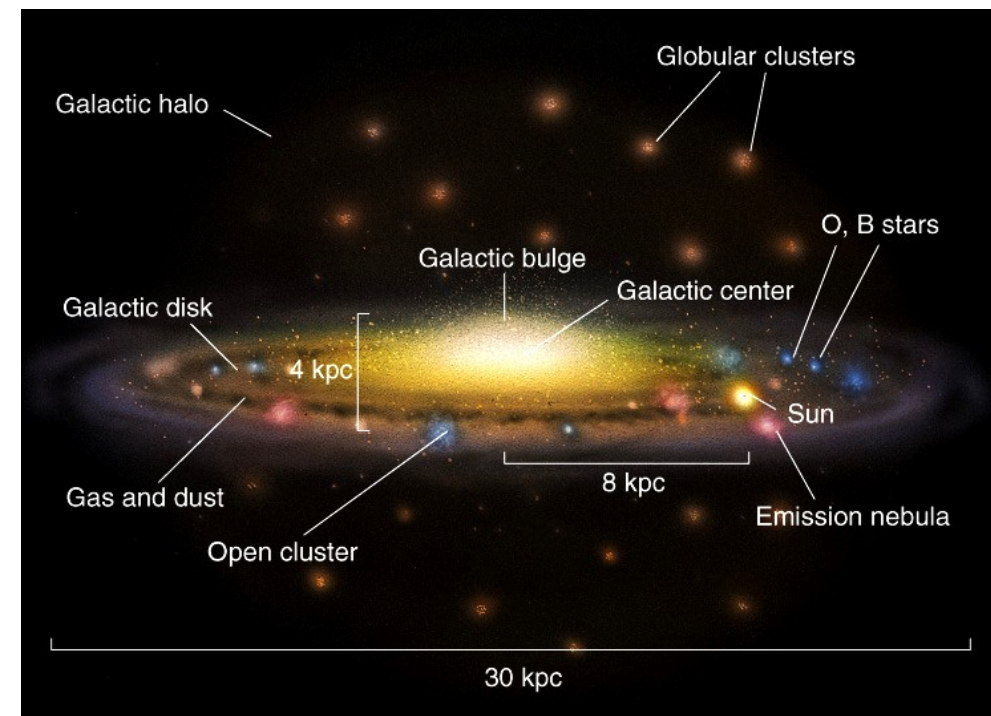
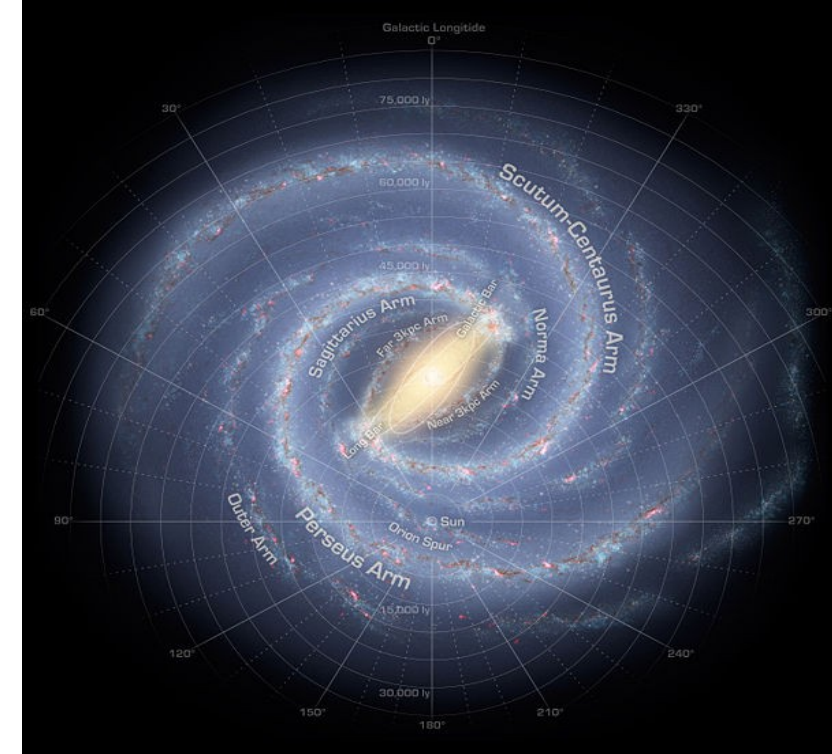


Note que o disco de Andrômeda é distorcido (warp)

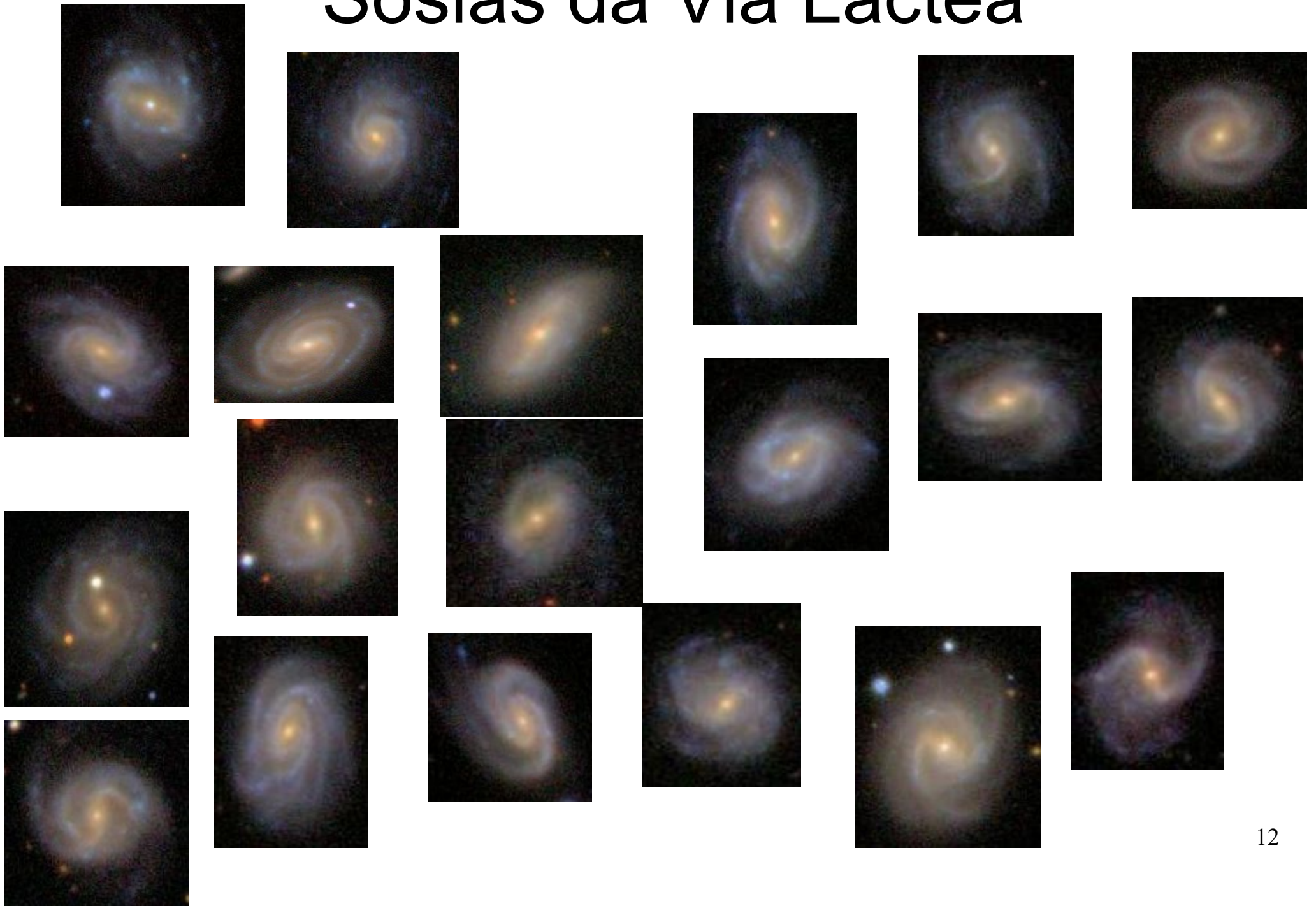


Propriedades da Via Láctea

- Tipo Sbbc – galáxia espiral barrada
- Luminosidade total: $1.4 \times 10^{10} L_s$
disco, bojo: $1.2/0.2 \times 10^{10} L_s$
- Disco: perfil de brilho exponencial, com escala 3.5 kpc
massa: $6 \times 10^{10} M_s$ $M/L_V \sim 5$ 2-3 braços
- Vizinhança solar:
 - . O Sol está a ~ 8.5 kpc do núcleo e a uns 40 pc do plano
 - . Densidade volumétrica de M e L: $0.18 M_s \text{ pc}^{-3}$, $0.067 L_s \text{ pc}^{-3}$
 - . Densidade superficial de M e L: $75 M_s \text{ pc}^{-2}$, $15 L_s \text{ pc}^{-2}$
 - . Velocidade de rotação: ~ 220 km/s
- Núcleo:
 - . Raio do core (“caroço”): ~ 1 pc
 - . Densidade estelar: $5 \times 10^6 M_s \text{ pc}^{-3}$,
 - . Dispersão de velocidades (1-d): ~ 150 km/s
 - . Massa total: $10^8 M_s$
 - . Massa do buraco negro: $3.4 \times 10^6 M_s$



Sócias da Via Láctea

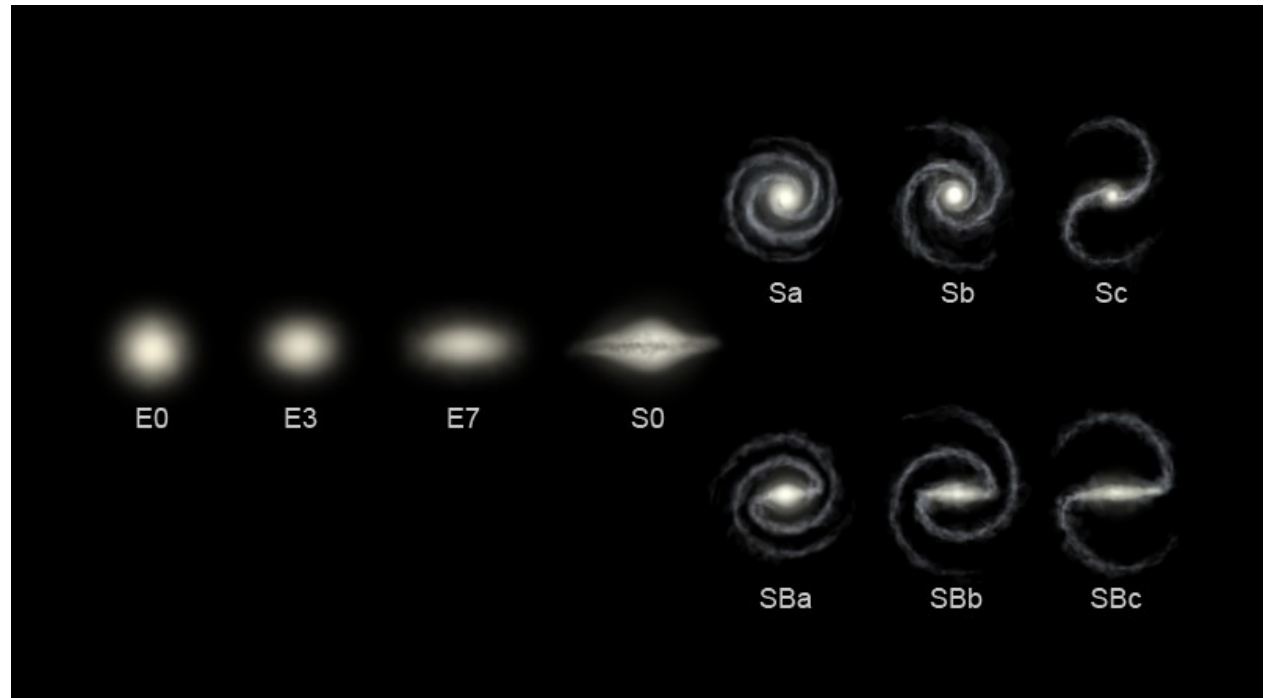


Classificação morfológica

- Objetivo da classificação morfológica: busca de padrões comuns
- Motivação: a forma de uma galáxia pode espelhar tanto sua história dinâmica quanto a de sua formação de estrelas

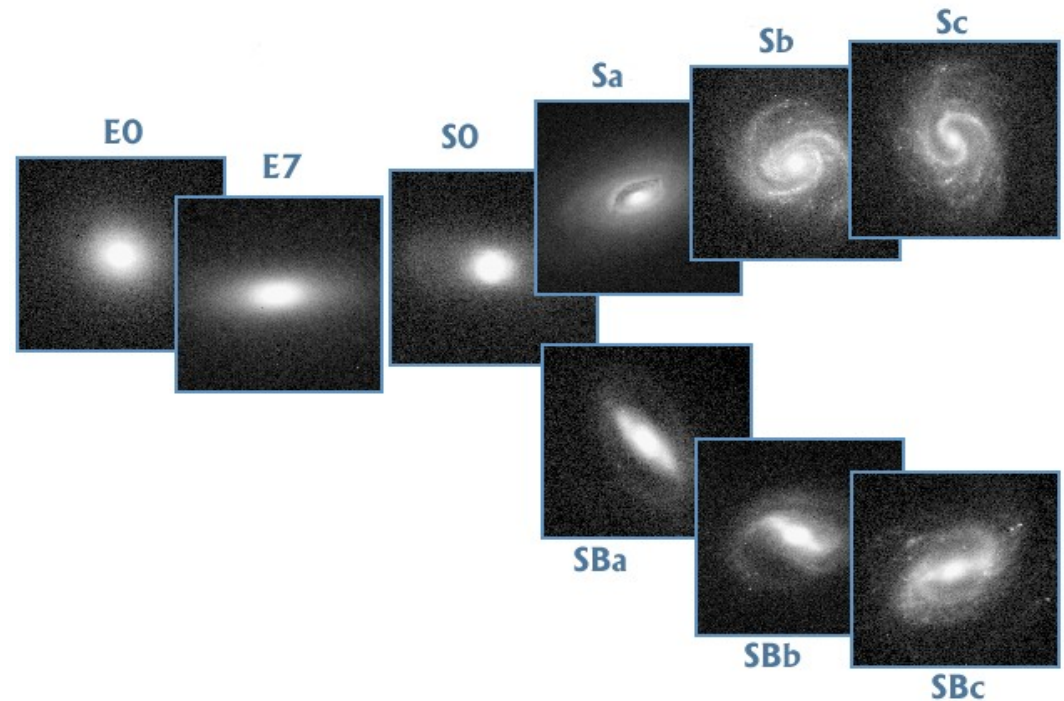
A Sequência de Hubble

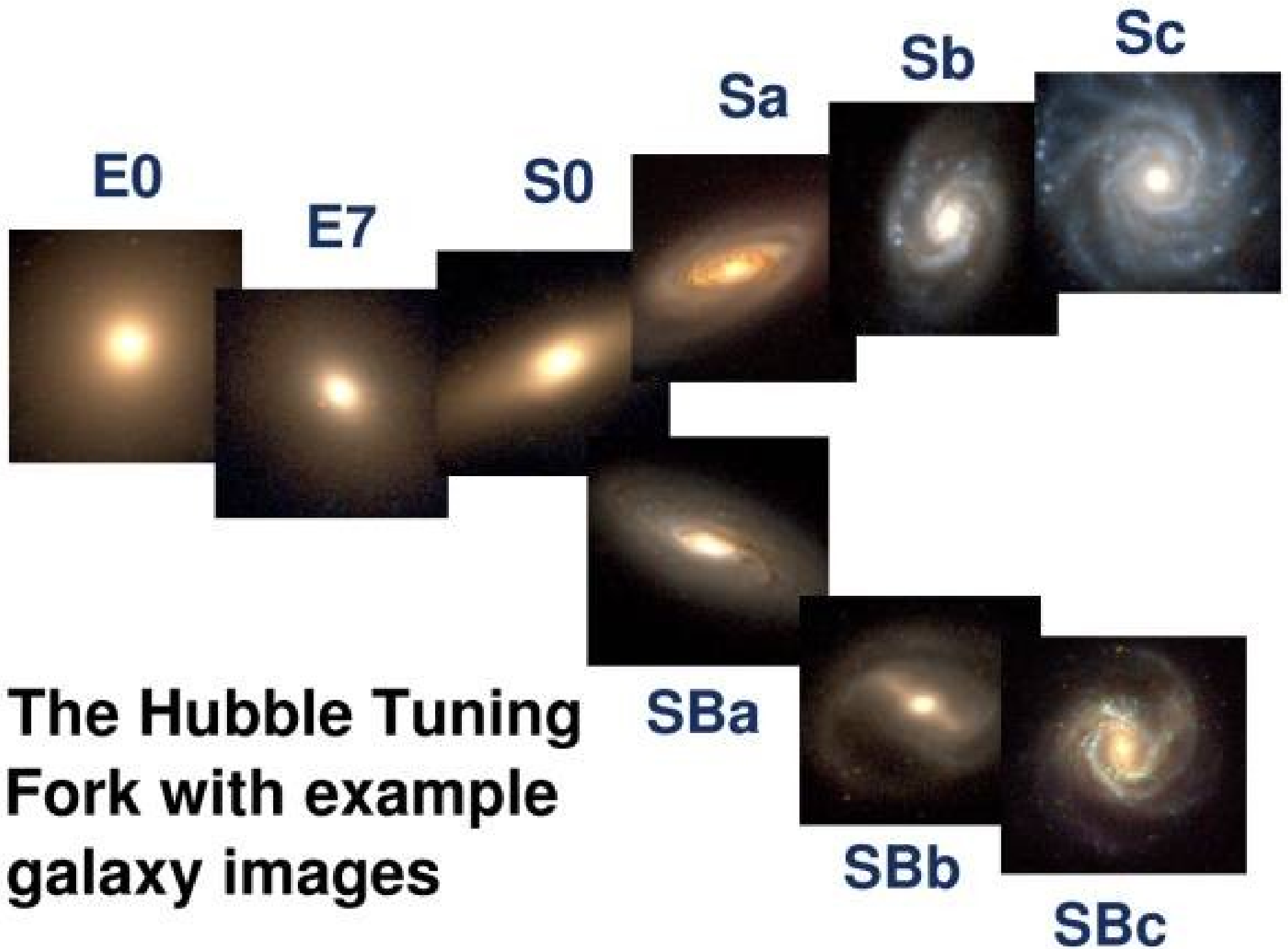
- diagrama do diapasão (1926)
- em *The Realm of Nebulae* (1936) introduz as S0
- E: elípticas (E0 ... E7)
- S0: lenticulares (tipo hipotético em 1936)
- S: espirais (Sa, Sb, Sc)
- SB: espirais barradas (SBa, SBb, SBc)
- ... Irr: irregulares



A Sequência de Hubble

- Sandage (1961)- *The Hubble Atlas of Galaxies*
- Galáxias simples e barradas
- S0, SB0
- Tipos intermediários: Sab, SBbc, etc
- Componentes envolvidas na classificação morfológica de Hubble:
bojo, disco, barra, braços espirais





nomenclatura

- E, S0, Sa: galáxias *early-type*
- S, I: galáxias *late-type*

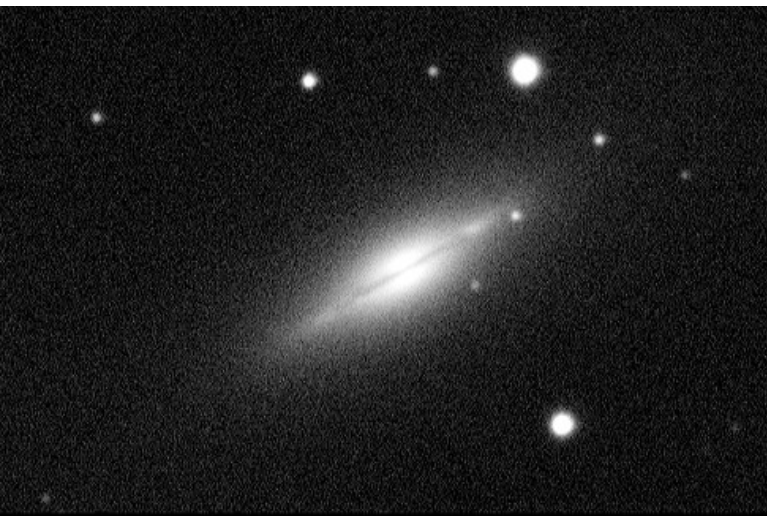
A Sequência de Hubble: E

- E: galáxias elípticas
- Apresentam apenas a componente esferoidal
- Forma elíptica
- Aparência lisa, sem estruturas (importantes)
- Designação: En $0 \leq n \leq 7$ $n = 10(1 - b/a)$
a,b: semi-eixos maior e menor da imagem
elipticidade: $\varepsilon = 1 - b/a$
- Exemplos:
E0: galáxia com imagem circular
E5: galáxia com $\varepsilon = 0.5$



A Sequência de Hubble: S0 ou Lenticulares

- Simples ou barradas
- Apresentam óticamente tanto a componente esferoidal quanto a disco (e, eventualmente, uma barra)
- O disco não mostra braços espirais nem formação estelar recente (regiões HII), mas frequentemente apresenta faixas de poeira
- Difíceis de classificar visualmente!



NGC5866



NGC5866



M84



Núcleo de M84

A Sequência de Hubble: S



- Galáxias espirais: S
- Podem ser simples ou barradas: S, SB
- Apresentam opticamente tanto uma componente esferoidal como uma componente disco e, nas barradas, uma barra no disco
- O disco apresenta sinais de formação estelar recente
Ex.: regiões HII: nuvens de hidrogênio ionizado por estrelas jovens
- Nem sempre os braços espirais são proeminentes!
Na verdade, o que caracteriza uma espiral é a presença de um disco com formação estelar ativa
- Subtipos: Sa, Sb, Sc ou SBa, SBb, SBc
- Os braços espirais (e as barras) são *ondas de densidade*

Critérios de classificação das espirais:

- *Razão bojo/disco*: diminui das Sa para as Sc
S0/Sa: 5 a 0.3; Sb: 1 a 0.1; Sc/Irr: 0.2 a 0
- *Grau de fechamento dos braços*: são mais fechados nas Sa que nas Sc
Sa: 0 a 10°; Sb: 5 a 20°; Sc: 10 a 30°;
- *Resolução dos braços em estrelas jovens e regiões HII*: cresce das Sa para as Sc
- Presença ou não de barras
- Problema: multiplicidade de critérios leva a ambiguidades na classificação

Classificação das espirais

- Pode-se distinguir 2 tipos de espirais a partir da aparência do disco:
 - as *grand design*, com braços espirais bem definidos
 - as *floculentas*, com regiões brilhantes de formação estelar espalhadas sobre o disco



Galáxias irregulares: Irr

- Irr I: irregulares magelânicas- tipo as Nuvens de Magalhães, com sinais evidentes de formação estelar
- Irr II: galáxias “explosivas”, como M82- resultado da fusão de galáxias



Extensão de de Vaucouleurs

- Estende a sequência das espirais:

Sa-Sb-Sc-Sd-Sm-l

- Denomina A as espirais simples e B as barradas
- Divide as SB nos subtipos (r), (s) e (rs)
 - r (ring): os braços começam em um anel que envolve a barra
 - s: os braços começam nos extremos da barra
 - rs: tipo intermediário entre r e s



M95: SB(r)b

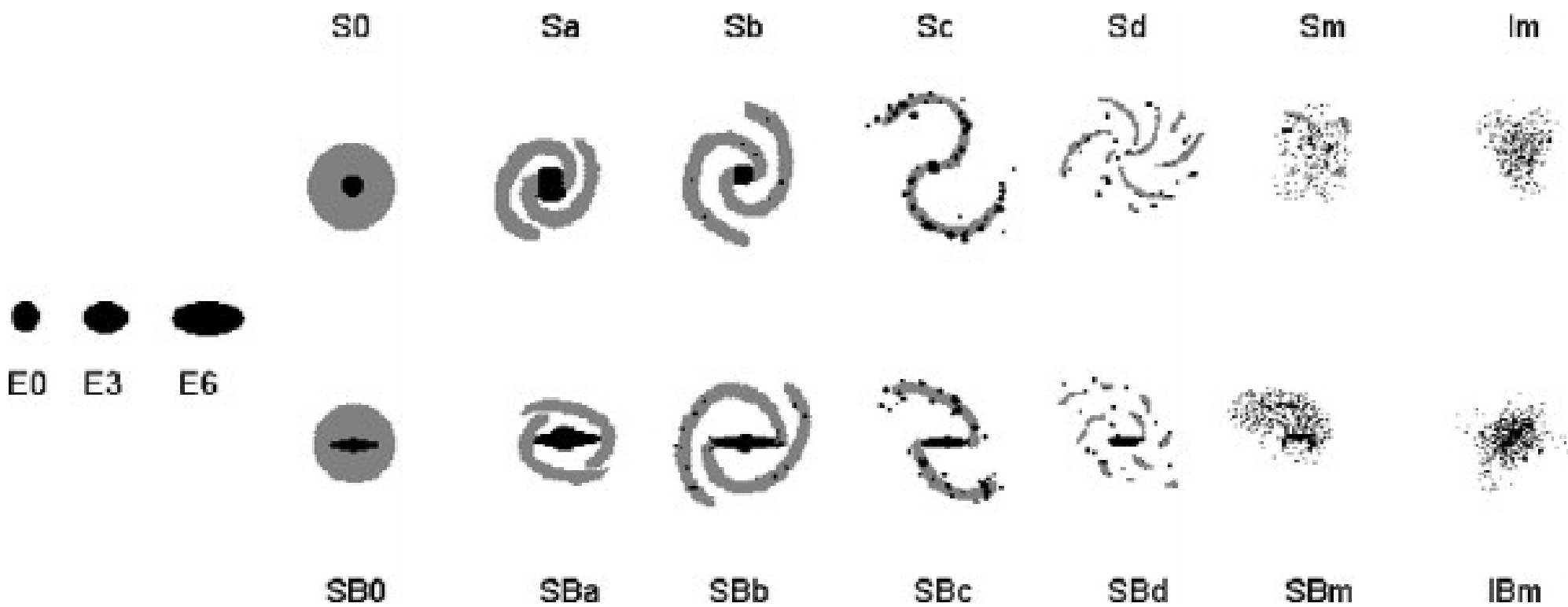


NGC1364: SB(s)b



M101: SAB(rs)cd





Buta

Outras classificações clássicas

- Classificação de Morgan (1958) ou de Yerkes: baseada na concentração de luz na galáxia
 - é nesse sistema que aparecem as designações D (para *E gigantes*) e cD (para *E gigantes com envoltória extensa*), que são galáxias encontradas no centro de grupos ou aglomerados de galáxias
- Classes de luminosidade de van den Bergh (1960): há galáxias de mesmo tipo com luminosidades muito diferentes; as S mais brilhantes têm braços mais desenvolvidos que as mais fracas
- Tipos numéricos T (RC3): O RC3 (*Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*, de Vaucouleurs et al. 1991) apresenta uma codificação numérica dos tipos morfológicos

Galáxias cD

Galáxia cD NGC 4874



cD em Hidra



Tipos numéricos do RC3

-6	cE
-5	E0
-4	E ⁺
-3	S0 ⁻
-2	S0 ⁰
-1	S0 ⁺
0	S0/a
1	Sa
2	
3	Sb
4	
5	Sc
6	
7	Sd
8	
9	Sm
10	Im

cE: E compactas, como M32

Sm: tipo intermediário entre S e Im

Galáxias Anãs

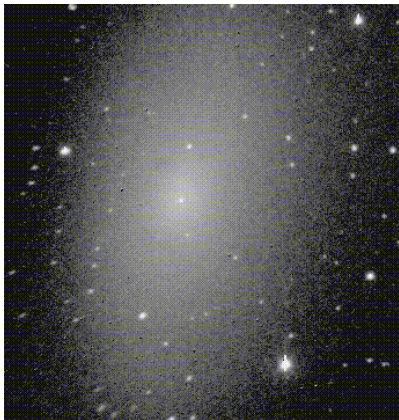
- A classificação de Hubble é apropriada para galáxias brilhantes (e grandes), mas a grande maioria das galáxias são anãs
- E anãs
 - cE: elípticas compactas, com alto brilho superficial

exemplo: M32

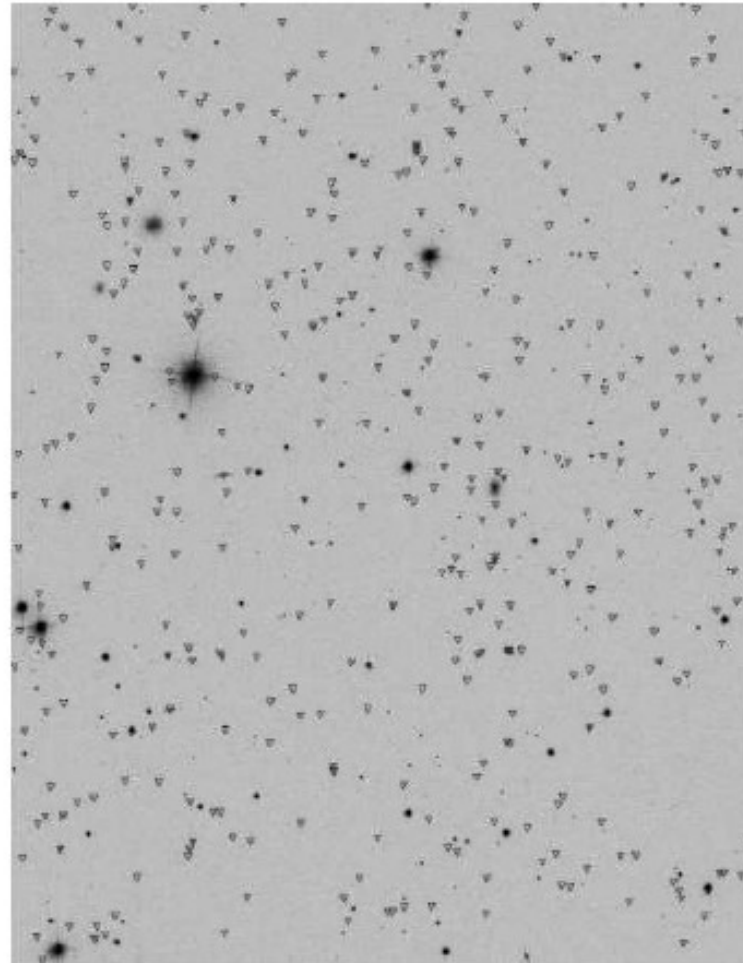
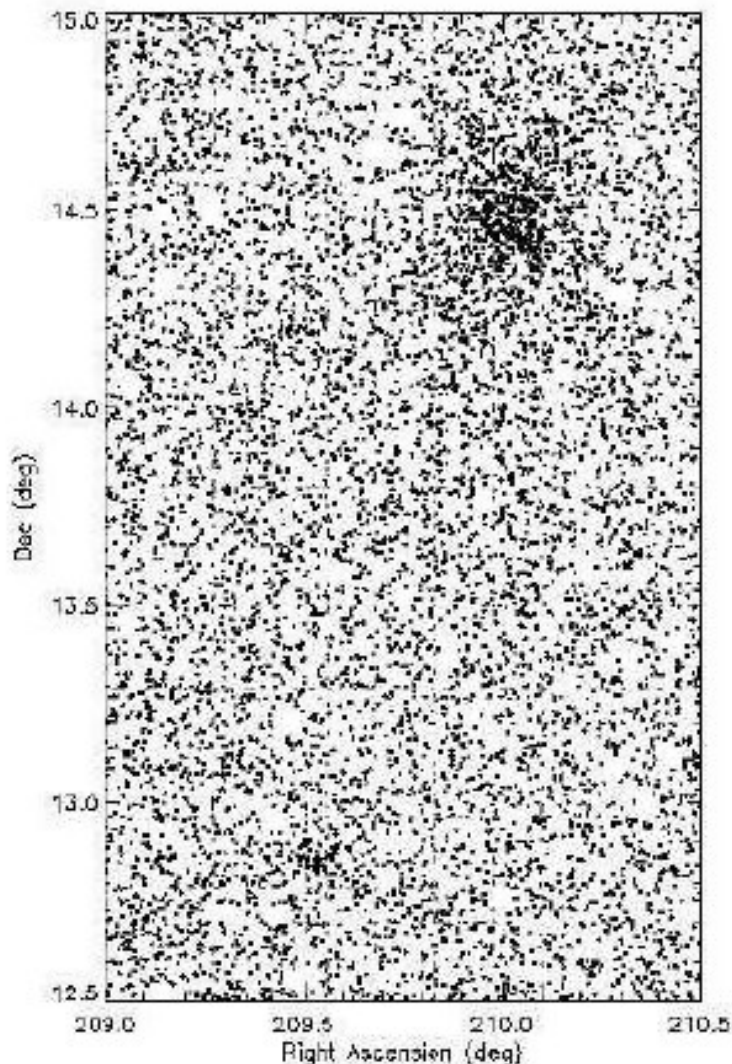


- dE (*dwarf ellipticals*): E anãs de baixo brilho superficial
 - algumas apresentam um núcleo luminoso e são designadas como dEN, de *nucleated dwarf elliptical*

ex.: NGC205



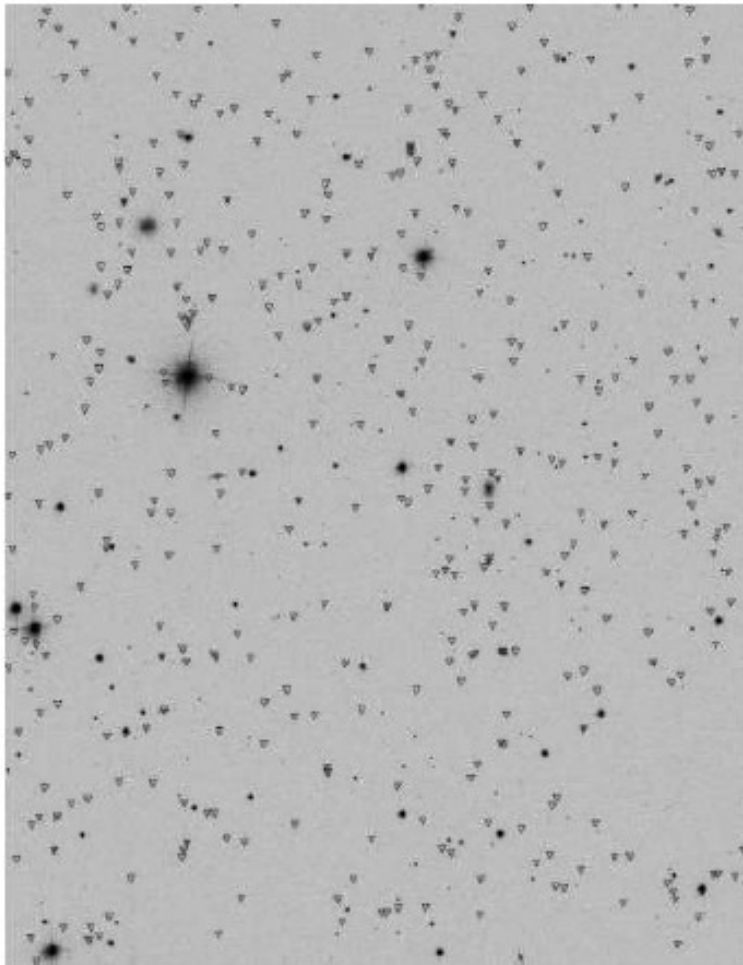
- dSph (*dwarf spheroidal*): anãs esferoidais- são o extremo em baixas luminosidades das dE
- ex.: Bootes



Esquerda: estrelas do SDSS com $17 < r < 23$ e cor $g-r < 0.65$, mostrando Bootes como um excesso de estrelas. Acima: imagem de $15' \times 15'$ do centro de Bootes; os triângulos representam galáxias de fundo

- dSph (*dwarf spheroidal*): anãs esferoidais- são o extremo em baixas luminosidades das dE

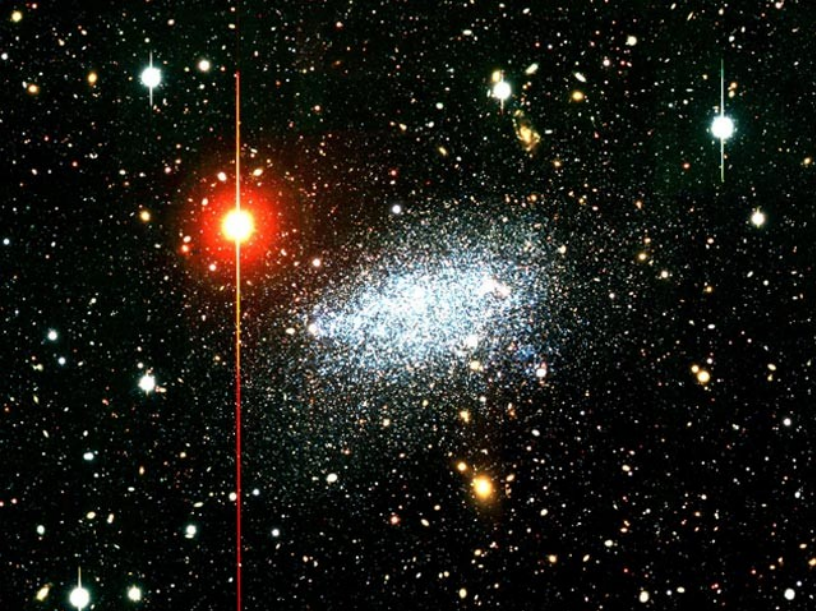
ex.: Bootes



Enquanto a densidade estelar em um aglomerado globular é $\sim 1 - 10^5 M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$, em uma dSph ela é de $10^{-4} - 10^{-2} M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$!

Irregulares anãs: galáxias anãs com formação estelar ativa

- dIm: versão anã das nuvens de Magalhães
- BCD- *blue compact dwarf*, ou galáxias HII: objetos compactos, com alto brilho superficial, onde a formação estelar domina a galáxia inteira
- “anãs de maré”- *tidal dwarfs*: galáxias criadas em colisões entre galáxias

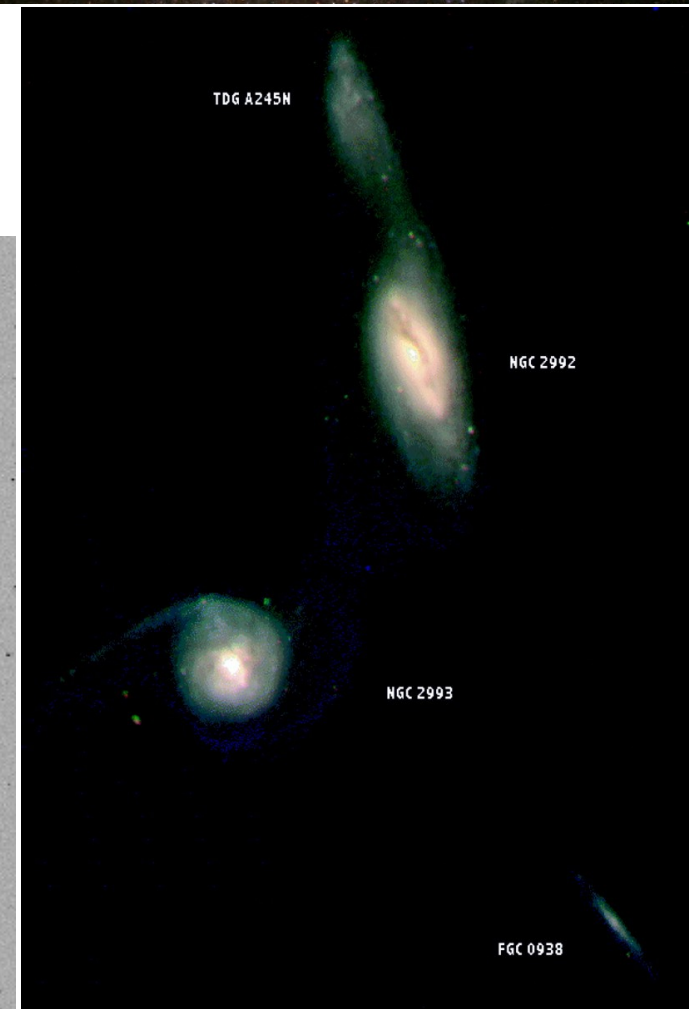
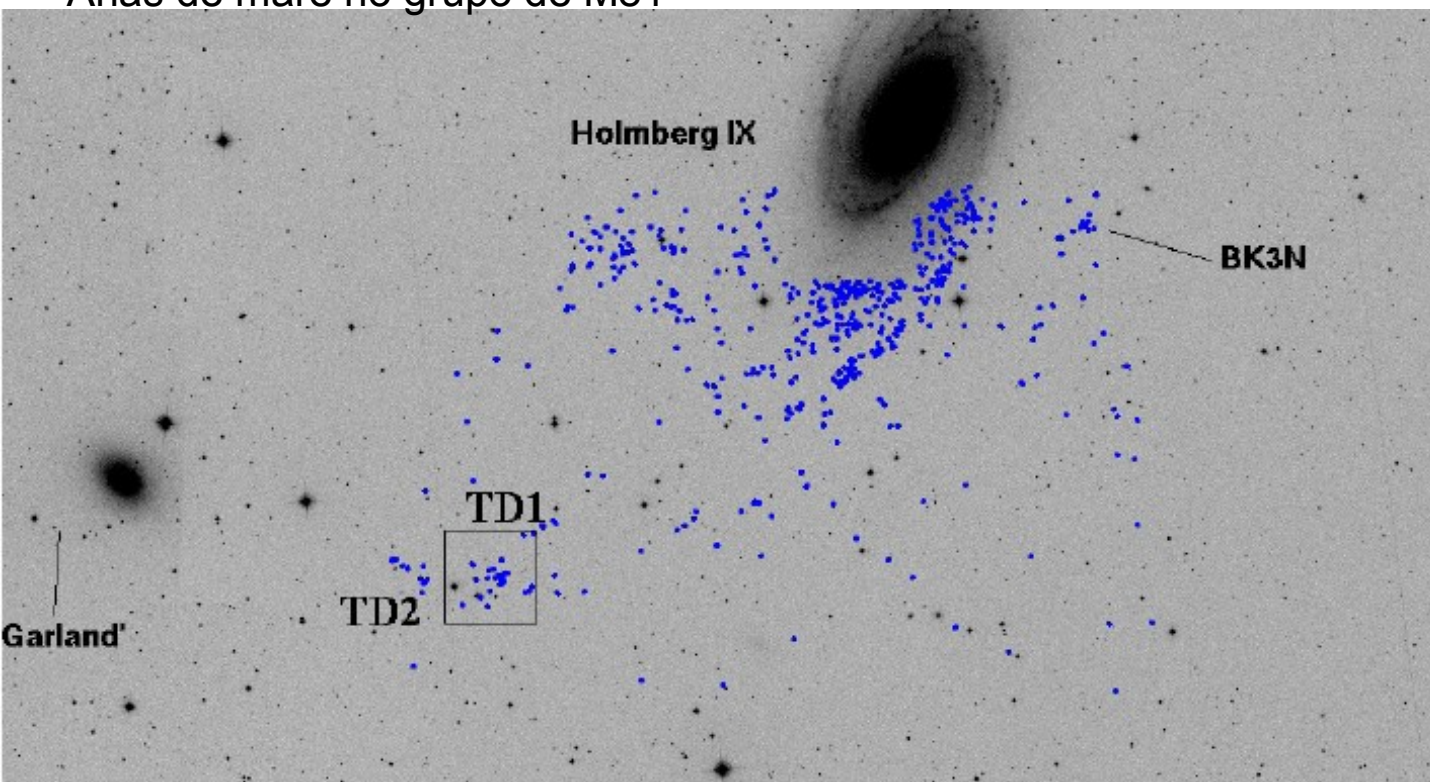


NGC1705 (BCD)



Galáxia anã Leo A (dl)

Anãs de maré no grupo de M81



Galáxias peculiares

Há diversos tipos de peculiaridades entre as galáxias. Alguns exemplos:

- Galáxias com núcleos ativos: apresentam um núcleo excepcionalmente brilhante- quasares, galáxias de Seyfert, rádio-galáxias, objetos BL Lac, etc
- Starbursts: galáxias com formação estelar excepcional
- Galáxias em interação: colisões entre galáxias frequentemente produzem peculiaridades morfológicas



ESO 593-8

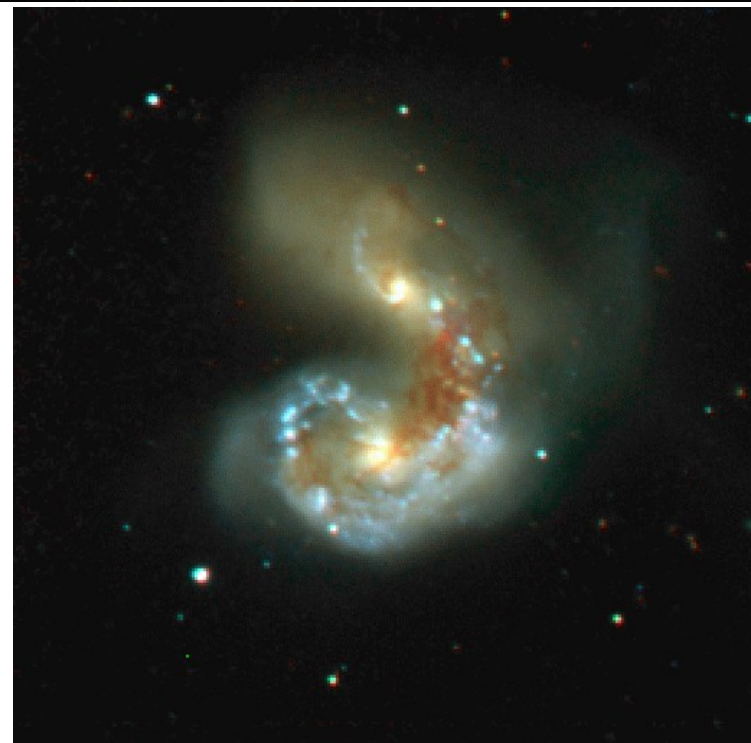


NGC454

Arp 87



Antennae







Shock Wave in Stephan's Quintet

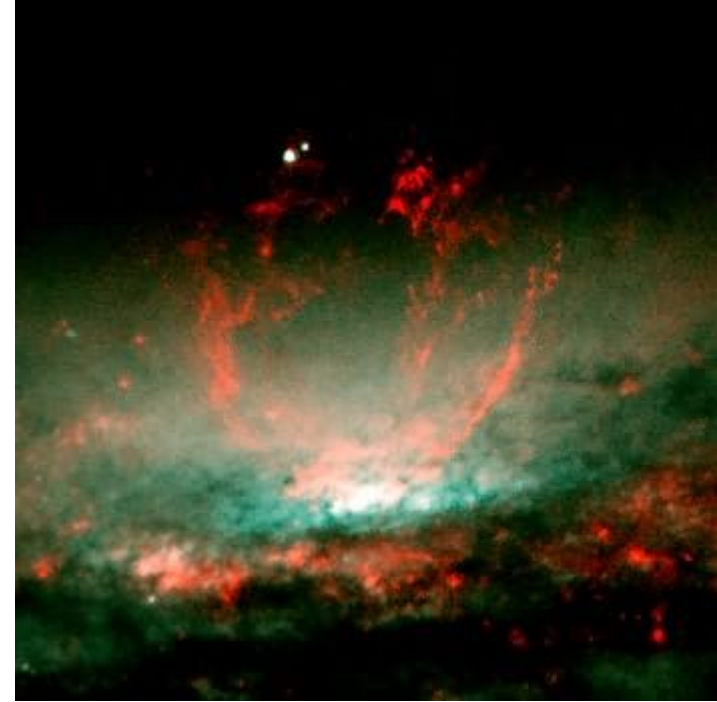
Spitzer Space Telescope • IRAC
Visible: Calar Alto Observatory

NASA / JPL-Caltech / Max-Planck Institute / P. Appleton (SSC/Caltech)

ssc2006-08a

AGNs: atividade nuclear

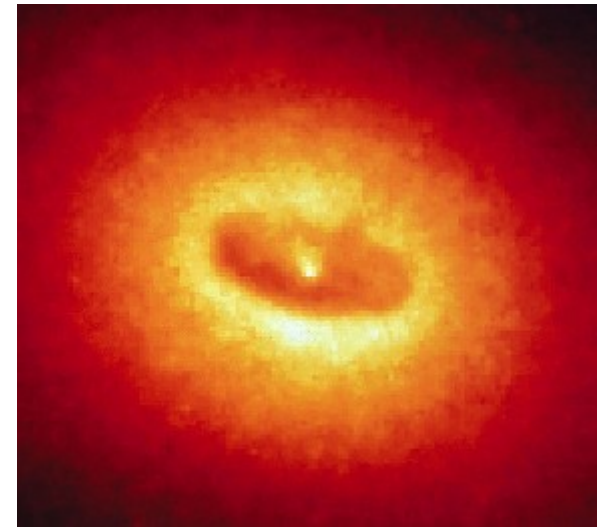
Bolha gasosa no núcleo da
galáxia NGC 3079



Jato de elétrons e outras partículas
saindo da vizinhança de um buraco
negro gigante no centro da galáxia M87



Disco de gás frio alimentando um
possível buraco negro gigante no
núcleo de uma galáxia



starbursts

M82



The Topsy-Turvy Galaxy NGC1313
(FORS/VLT)

ESO Press Photo 43a/06 (23 November 2006)

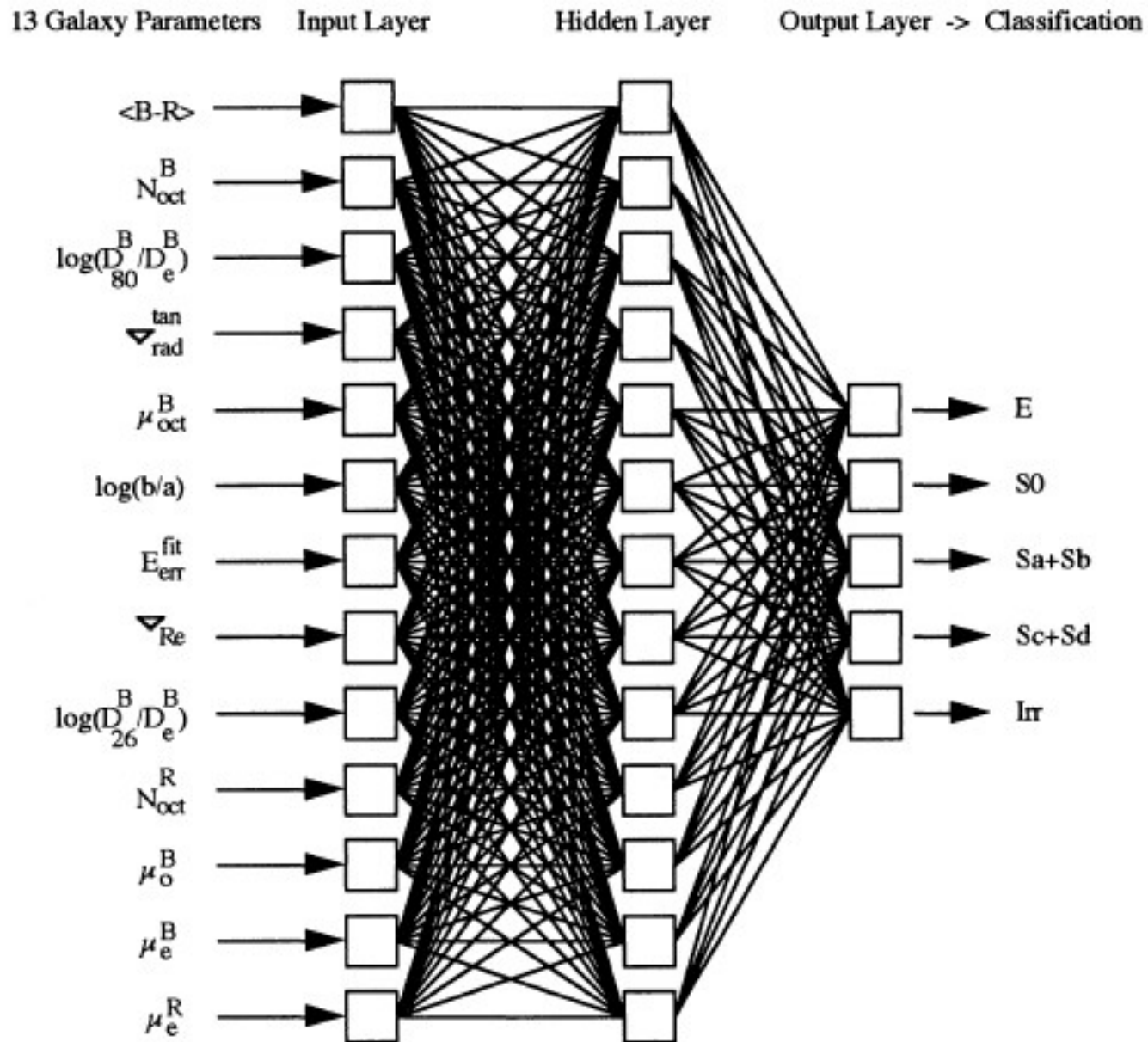


NGC3310



Novas tendências

- Problemas com a classificação visual:
 - trabalhosa- inviável para os *surveys* contemporâneos, com milhões de objetos
 - subjetiva, devido à multiplicidade de critérios
- Solução: procedimentos automáticos de classificação
 - classificação automática com redes neurais
 - classificação automática usando parâmetros da imagem, como a concentração de luz
 - (classificação espectral)



Exemplo: classificação automática com redes de neurônios artificiais

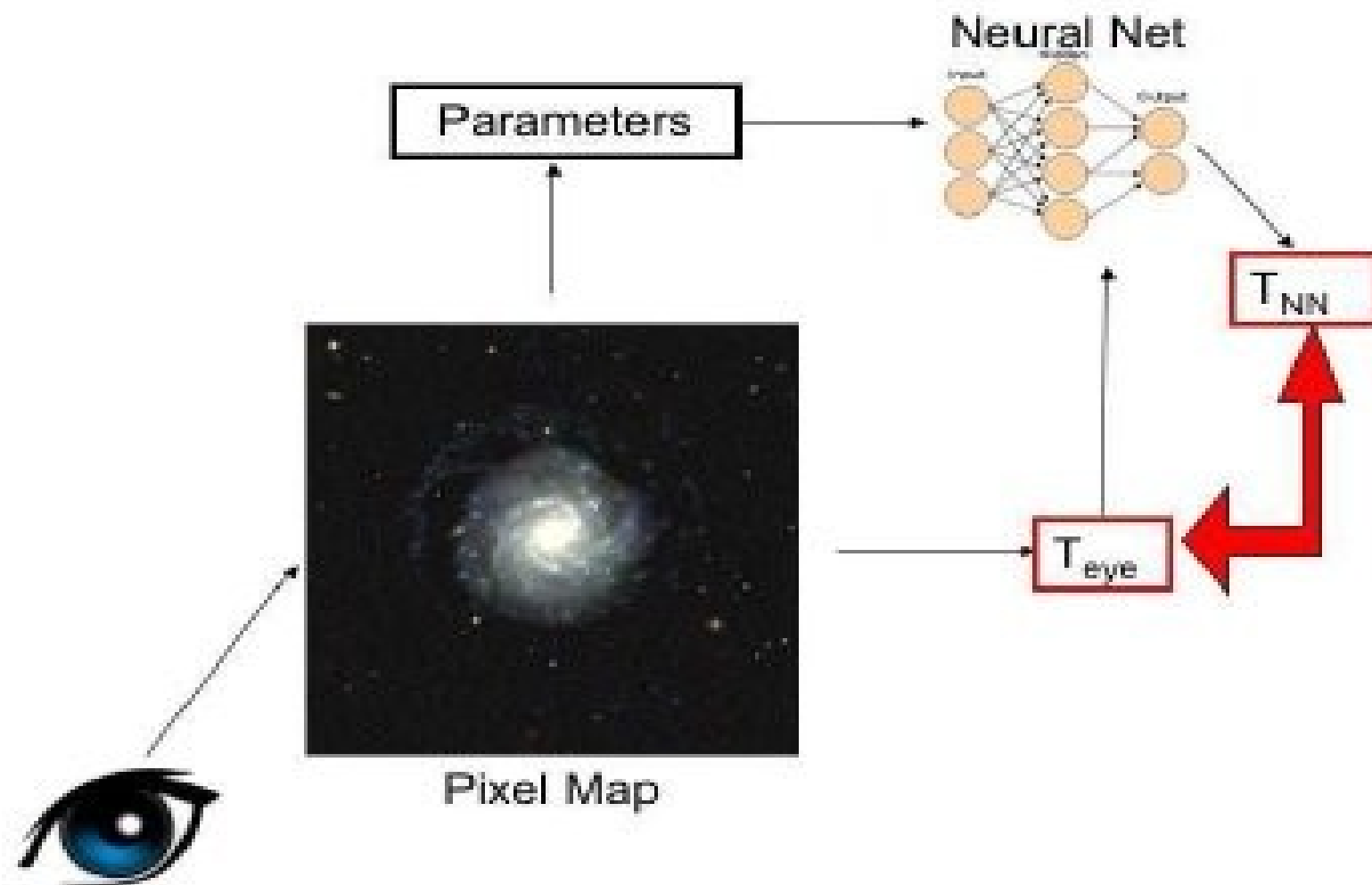


Figure 1. Cartoon schematic of how both the human eye as well as machine learning algorithms such as artificial neural networks perform morphological classification and determine parameters

Exercícios

1. Calcule o período de rotação do Sistema Solar em torno do centro da Via Láctea.
- Visite o GalaxyZoo (www.galaxyzoo.org), participe e escreva um relatório de meia página.
3. O que são regiões HII e em que tipos de galáxias são encontradas?
4. Descreva em palavras o que significa uma galáxia E3 e uma SAB(rs)cd.
5. Use o NED para obter as coordenadas equatoriais (J2000) e galácticas, a velocidade radial, o tamanho aparente e o tipo morfológico de NGC 488.
6. Encontre outros nomes para M95. Qual é seu tipo?
7. Meça a elipticidade de NGC 4473.

NGC 4473

