

# Aula 23

## Via Láctea: componentes principais

### Outras Galáxias

#### Via Láctea – Parte 2

Estrutura Geral

Componentes Principais: bojo, núcleo, halo e disco

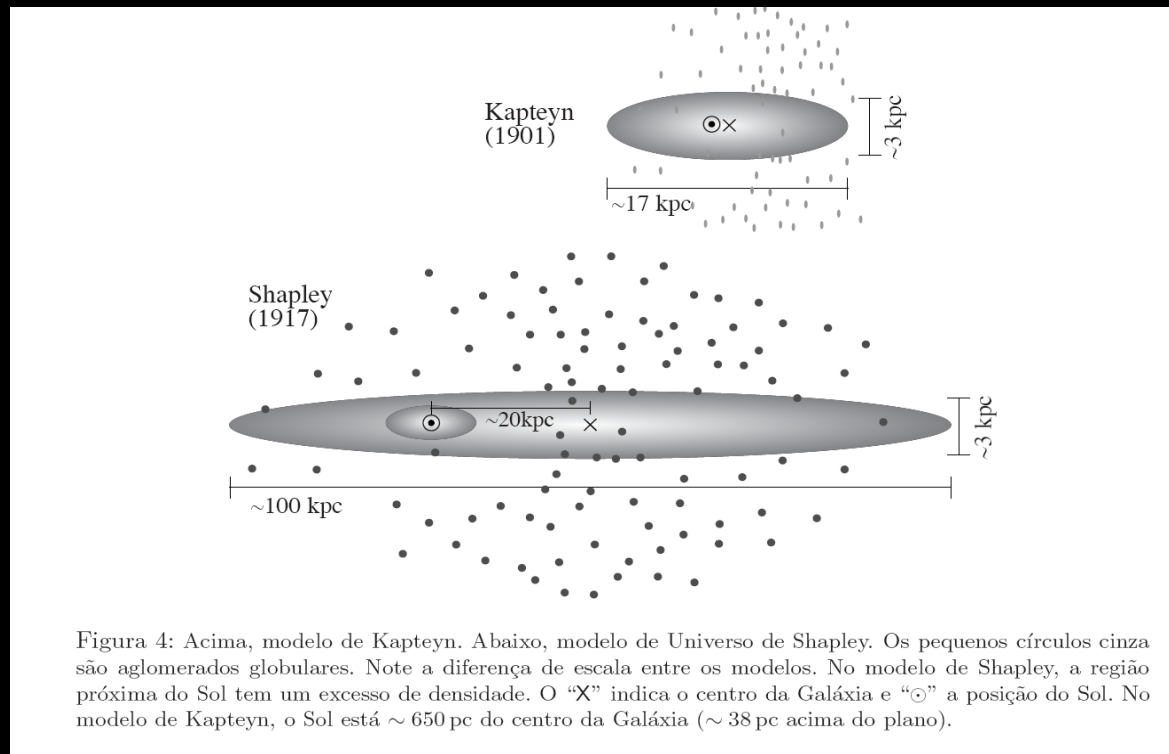
#### Outras Galáxias – Astronomia Extragaláctica (AE)

Descoberta de Outras Galáxias e o novo ramo da Astronomia (AE)

Lei de Hubble e a Expansão do Universo

Sistema de Classificação de Hubble – SCH (E, S)

Vimos na aula passada que o modelo mais realista da Galáxia apresentado no início do século XX foi proposto por **Shapley**. Ele utilizou como traçador de distância estrelas variáveis Cefeidas em aglomerados globulares e encontra como resultado uma distribuição espacial destes objetos quase esférica, o que identificamos hoje como a componente halo da Galáxia (fig.).



Percebe que o Sol **não se encontra** no centro desta distribuição.

Obtem um modelo bem mais realista do que os propostos até então....

Vimos que o nome “galáxias” está associado a observação de uma faixa no céu com aparência nebulosa e esbranquiçada conhecida como “caminho de leite”

Galáxias, em grego (leite) → Via-Láctea, (caminho de leite) em Romano



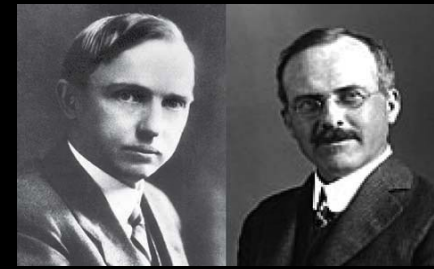
Além da extensa faixa esbranquiçada e nebulosa observa-se também estrelas, planetas e também objetos “nebulosos”.

**Qual a natureza destes objetos nebulosos? eles fazem parte da Via-Láctea?**

...as respostas a estas perguntas dependeriam das estimativas de distância e veremos a seguir como este problema foi resolvido...



# Grande Debate: escala do Universo



A natureza das “nebulosas”, em particular, as espirais, e a questão da dimensão da Galáxia era central para a compreensão da escala do Universo. Estas questões motivaram debates sobre o tema, o que levou ao conhecido “Grande Debate”, com as seguintes premissas.

**Harlow Shapley** acreditava que

- Via Láctea muito grande e única
- Sol a 20 kpc do centro
- Nebulosas fazem parte da galáxia

**Heber D. Curtis** acreditava que

- Via Láctea pequena
- Sol está no centro
- Nebulosas são “universos ilhas”

Sem ter a informação das **distâncias**, os estudos da época (1771-1908) foram direcionados essencialmente a confecção de **Catálogos**.

## Charles Messier (1730-1817)



**1781**: Publica catálogo com **103 objetos difusos**, e que leva a inicial de seu sobrenome na identificação dos objetos (ex: **M31, Andrômeda-31<sup>a</sup> “entrada” do Catálogo**)

## Avanços da época (1771-1908) também incluíram novas tecnologias



**1850:** Parsons constrói o maior telescópio da época (Irlanda)

“Resolve” pela 1ª vez a estrutura espiral de algumas nebulosas  
Sugere que estes objetos poderiam estar rodando

**1864:** J. Herschel --> amplia o **General Catalogue - GC (5000 objs)**

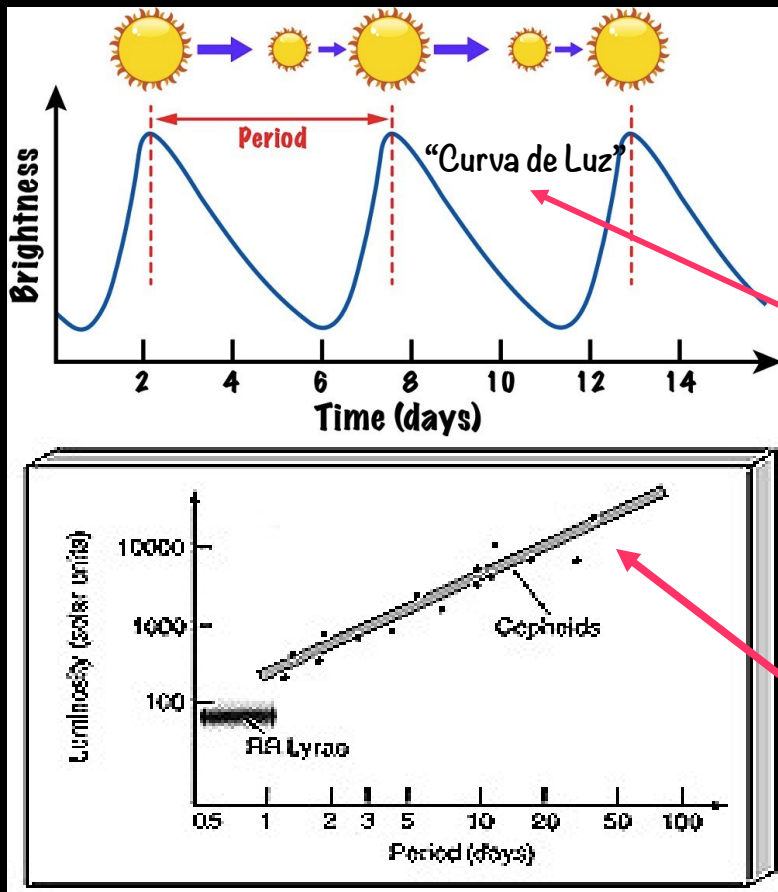
**1888:** Dreyer--> **New General Catalogue (NGC) com ~ 7000 objs**  
e constrói **2 extensões: IC (1895), IC (1908), com ~ 13.000 objs**

Telescópios já eram conhecidos no séc XVIII, ..mas não “resolviam”  
todas as nebulosas...!

Vimos nas aulas sobre estrelas\* uma descoberta relevante da época feita por **Henrietta Leavitt (1868-1921)** que vai ter papel decisivo e chave para as estimativas de distancia dos objetos nebulosos.



Hubble identifica a presença de estrelas variáveis na Nuvem de Magalhães e utiliza a relação entre **período (P) e luminosidade (L)** descoberta por Henrietta.



\* Estrelas variáveis são estrelas massivas e evoluídas que podem ser posicionadas na faixa de instabilidade do Diagrama-HR.

Estas estrelas pulsam regularmente devido a expansão e contração do envelope, e como consequencia, a luminosidade também varia. Esta variação regular e cíclica é observada e medida, gerando uma **“Curva de Luz”**.

A curva de luz fornece o período (P), portanto, utilizando a **relação entre P-L** é possível inferir a magnitude absoluta (M<sub>B</sub>), na banda B, via eq.

$$M_B = -2,222 \log P \text{ (dias)} - 1,182$$





**OBS:**

A relação entre P-L foi utilizada por cientistas como Ejnar Hertzsprung, Harlow Shapley e Edwin Hubble (como mostram os slides 33-35), e contribuíram significativamente para o desenvolvimento da Astrofísica Extragaláctica.

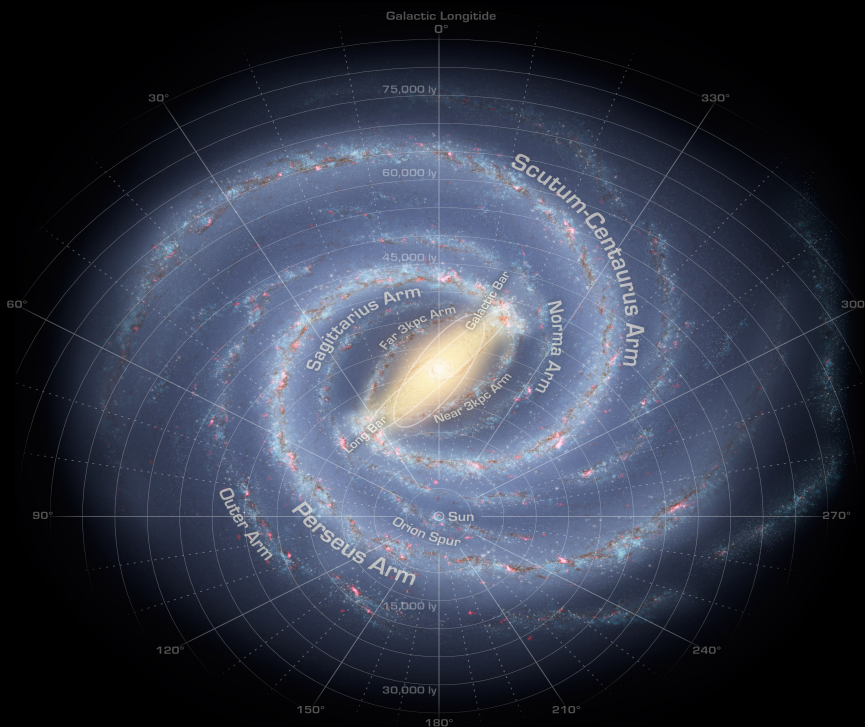
Considerada candidata a receber o prêmio Nobel em 1925, faleceu antes de receber o prêmio.

Em homenagem a sua contribuição, o asteroide 5383-Leavitt e Cratera-Leavitt na Lua receberam seu nome em homenagem

## Via-Láctea: visão atual

A visão contemporânea da Galáxia é resultado da contribuição de estimativas de distância de vários objetos que traçam as estruturas da Galáxia, bem como de fenômenos que ocorrem em diferentes faixas de energia, em particular, em **rádio** (gás) e **IR** (poeira) e raios-X que permite detectar fenômenos que produzem altas energias.

A observação de galáxias externas também contribui para a construção desta visão, já que indiretamente podem ser utilizadas como padrão de comparação.



# Componentes Estruturais da Galáxia - Modelo

Perfil

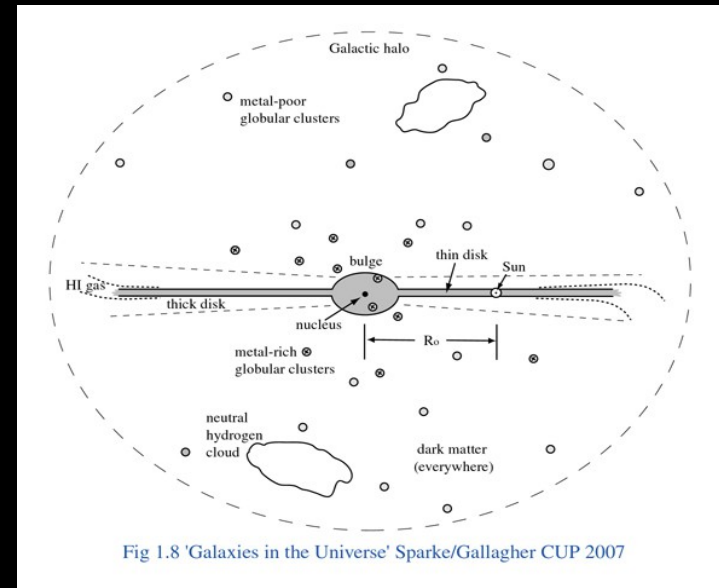
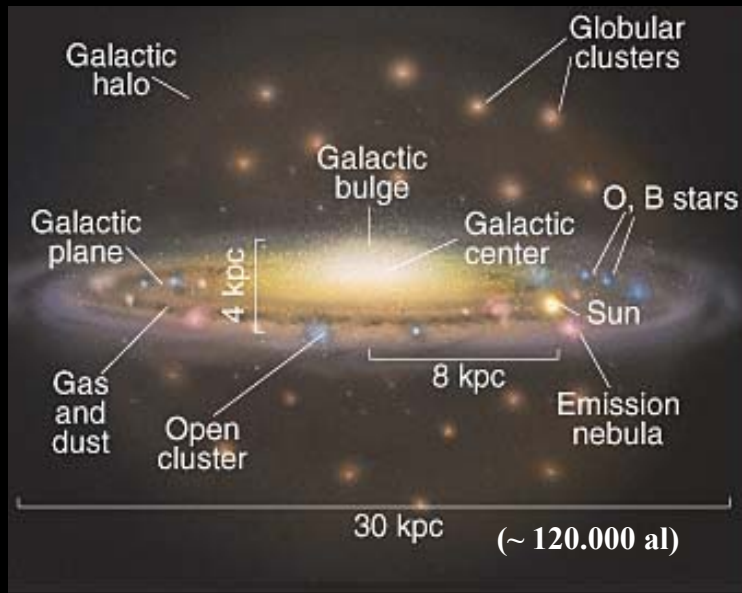
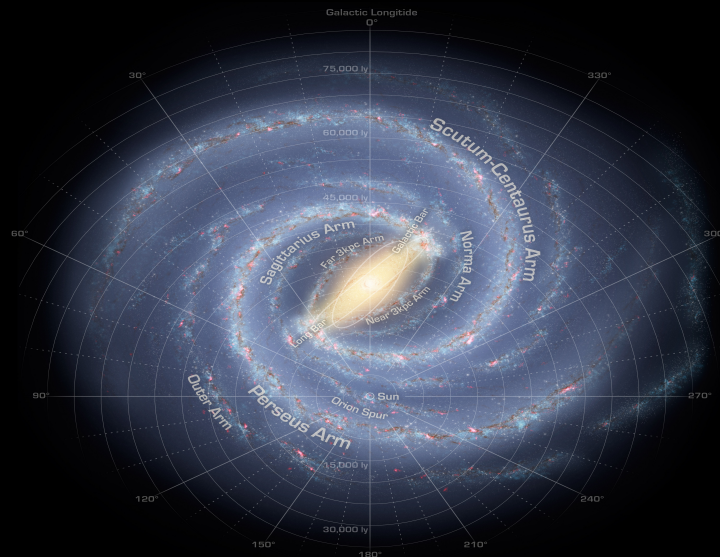


Fig 1.8 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

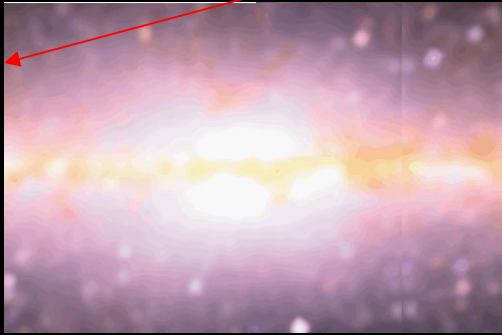
Face



**Disco:**  
barra, braços espirais

# Componentes da Galáxia - Bojo

Forma e Conteúdo



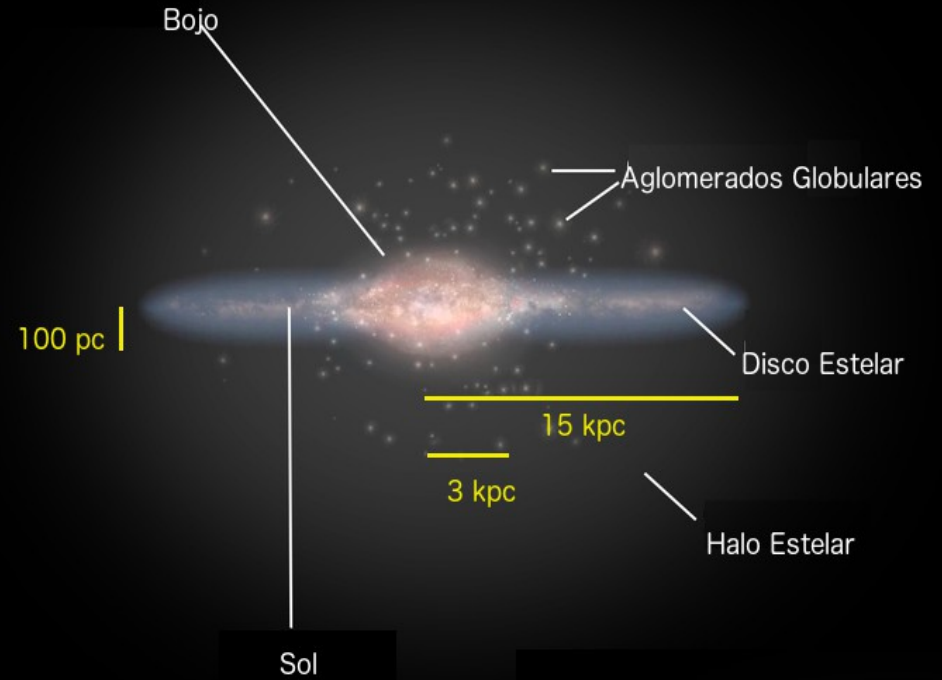
Preponderância de estrelas velhas e pobres em metais; estrelas de tipo gigantes K – fazem parte da **população estelar II**

**Observações na faixa do visível são afetadas pela absorção e, portanto, só observamos estrelas próximas ao Sol (300pc)**

**Imagem acima composta no infravermelho obtida pelo satélite COBE (DIRBE)**

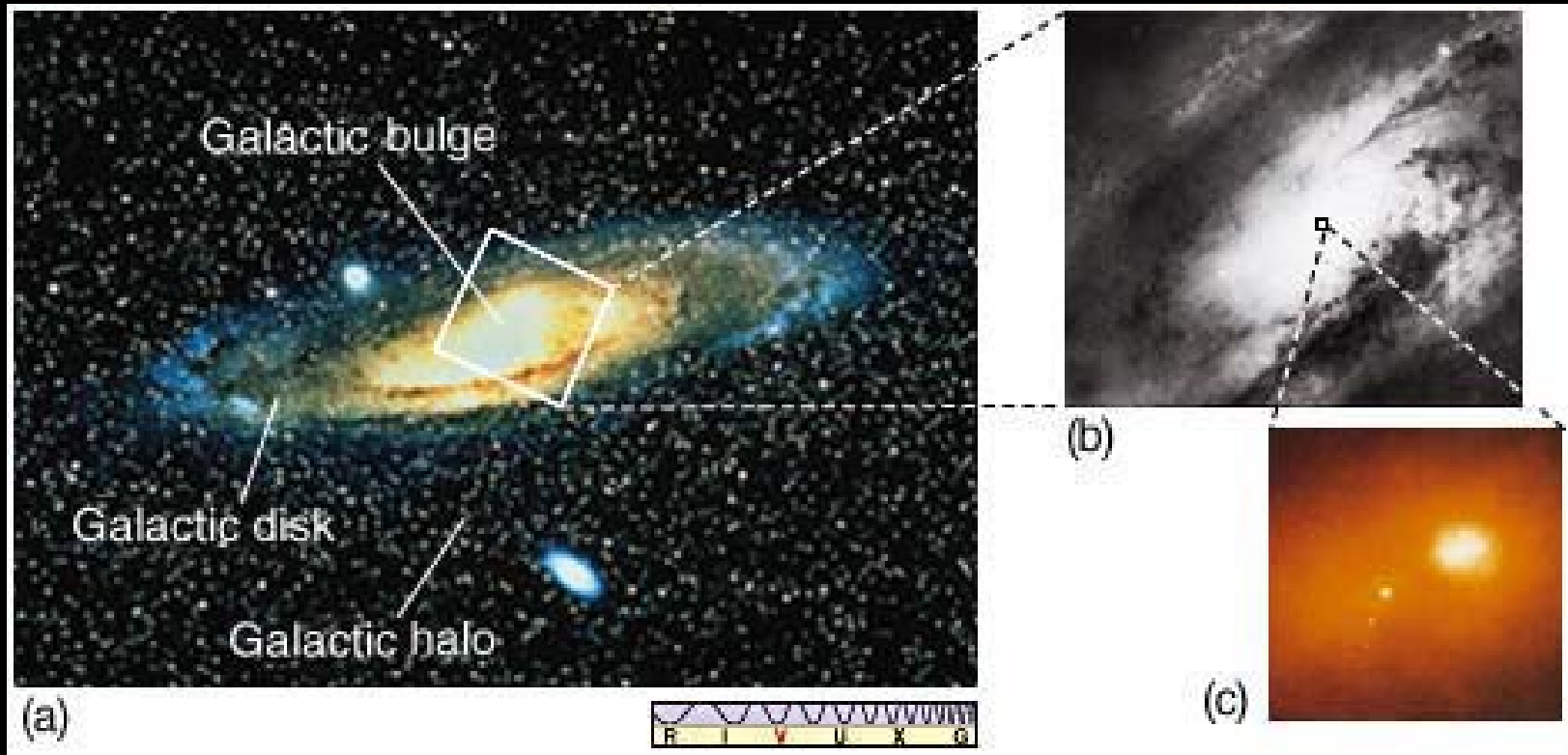
**A emissão se deve a **estrelas do tipo gigante K** presentes no disco e no bojo da Galáxia. A absorção interestelar nesta faixa de energia não afeta tão fortemente a luminosidade permitindo observar claramente a **forma retangular do bojo** (veremos pq adiante...).**

# Dimensões da Galáxia



Bojo entre 3 a 6 Kpc de extensão e da ordem de 1-2 kpc de espessura

## Núcleo na região central do bojo



Galáxia vista quase de Perfil



# Centro da Galáxia

Imagem no **visível**

Vários aglomerados, abertos e globulares, estão marcados.

Janela de Baade:

... região com **pouca poeira** por onde observamos melhor o bojo.

A luz difusa vem de muitos milhões de estrelas.





## CENTRO

...conjunto de observações em diferentes comprimentos de onda

**Observações em radio** mostram que existe um anel molecular de 3 kpc de diâmetro no centro da Galáxia, onde se observa uma **fonte brilhante de rádio**, Sagitário A (Sgr A)

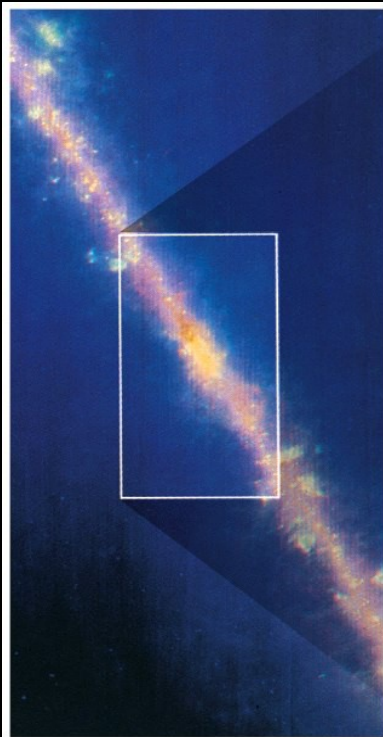
Estudos no **Infra Vermelho (IR)**, indicam a existência de um grupo de estrelas com densidade 1 milhão de vezes a das proximidades do Sol e a presença de um objeto com **forte emissão X (fonte é Sgr A\*)**

Movimento das nuvens de gás e das estrelas em **alta velocidade** indicam presença de grande quantidade de massa, um BN com massa estimada em 4,3 milhões  $M_{\text{sol}}$

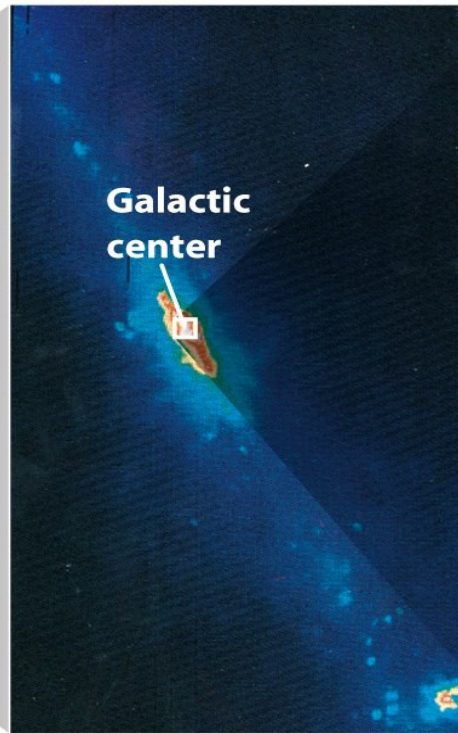
Observa-se segmento de braço se afastando do centro sugerindo evento explosivo

# Centro da Galáxia

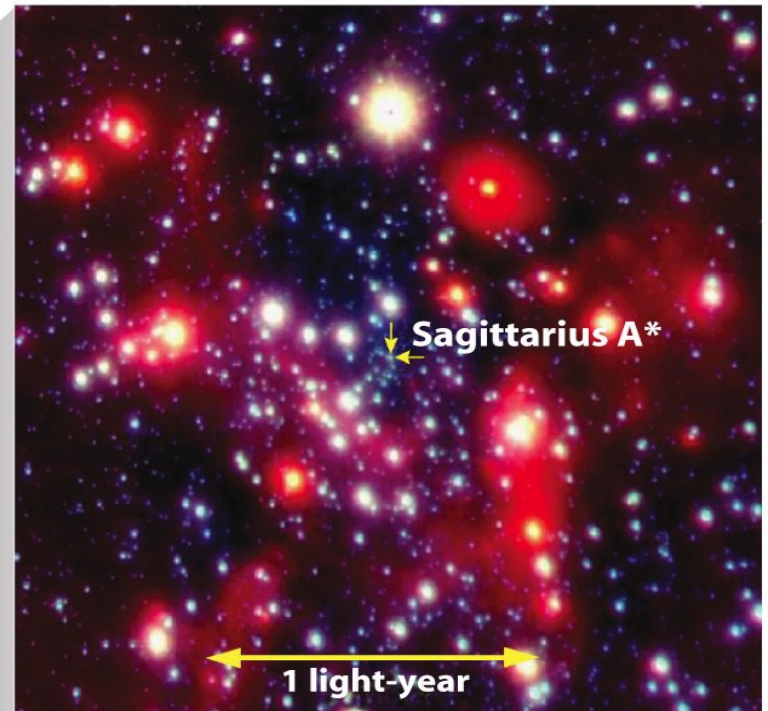
...em **infravermelho** podemos observar através da poeira



Infravermelho,  
campo de 50°.



Infravermelho, com  
destaque ao centro  
Galáctico.



Zoom centrado em Sg A\*, uma fonte de rádio bem no centro da VL, onde se observa centenas de estrelas próximas de Sagitário A\* dentro de 1 al ou 0,3 pc.

Binárias com anãs brancas, estrelas de nêutrons e/ou buracos negros.  
 Restos de supernovas.  
 Emissão associada a Sagitário A\*.

Imagem em **rádio em 333 MHz**.  
 A fonte rádio Sagitário A\* coincide com o centro da Via Láctea.  
 Observa-se vários restos de supernovas.

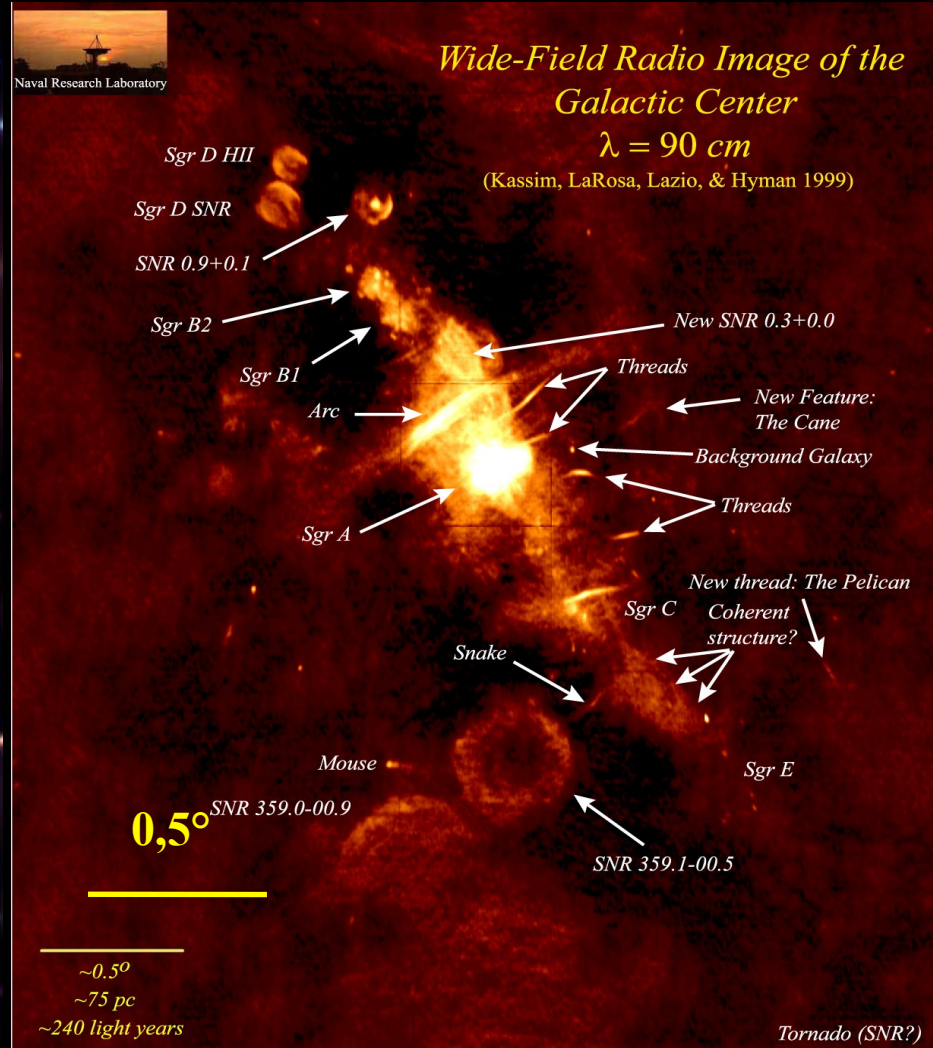
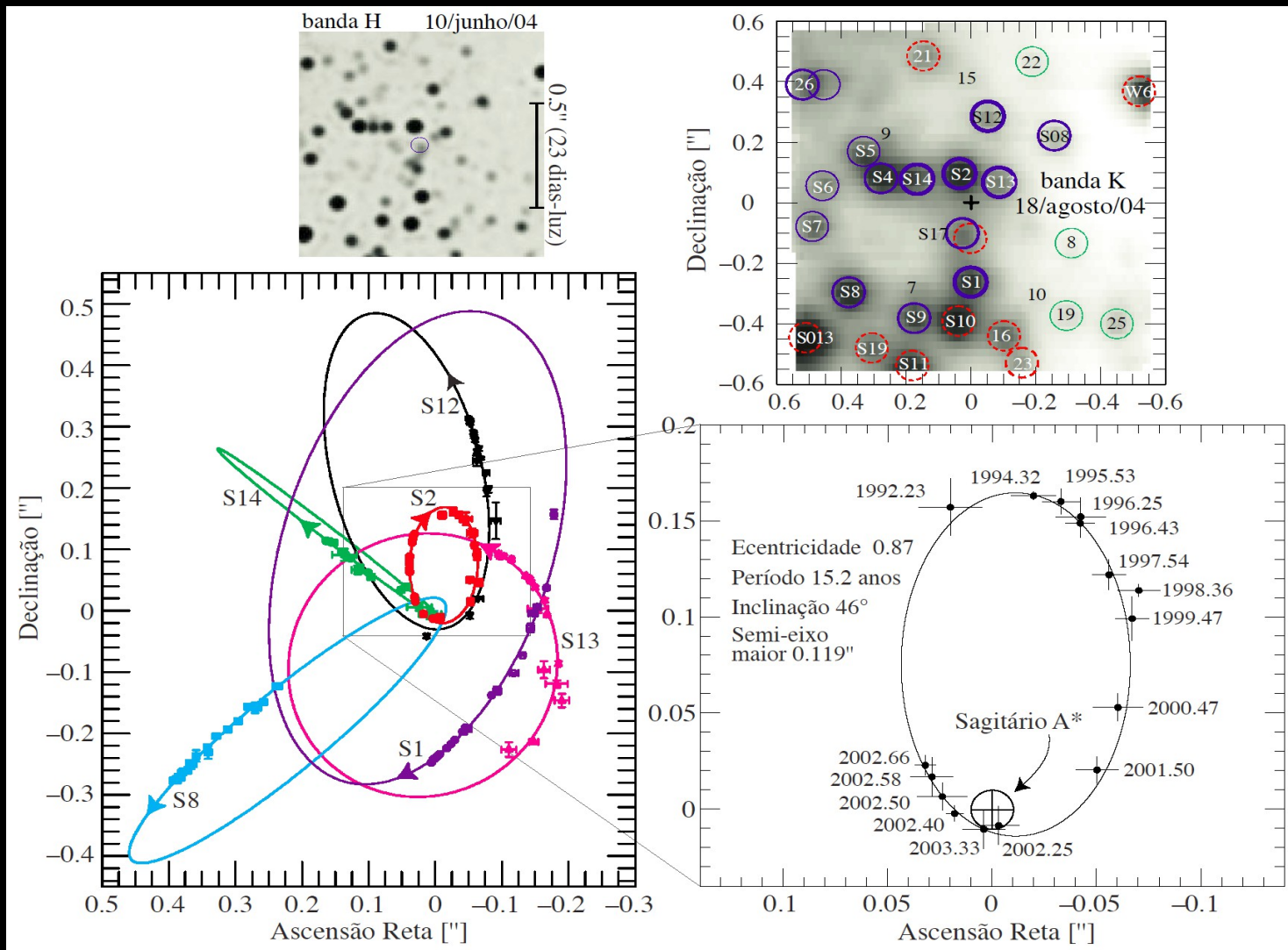


Imagem de Sgr A\* em **raios-X**

Image processing at the Naval Research Laboratory using DoD High Performance Computing Resources  
 Produced by N.E. Kassim, D.S. Briggs, T.J.W. Lazio, T.N. LaRosa, J. Imamura, & S.D. Hyman  
 Original data from the NRAO Very Large Array courtesy of A. Pedlar, K. Anantharamiah, M. Goss, & R. Ekers

# Centro da Galáxia



Massa no interior de  $\sim 130$  U.A. =  $3,4 \times 10^6 M_{sol} \rightarrow$  Buraco Negro.

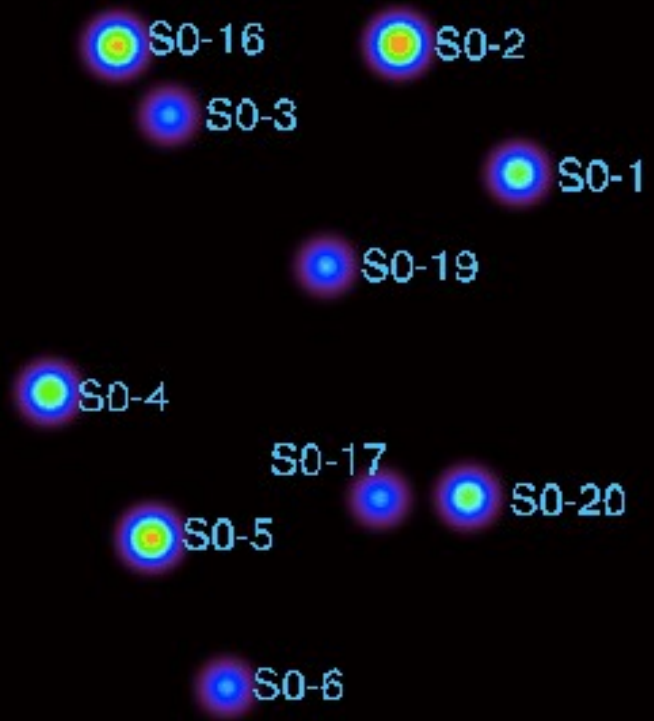
# Centro da Galáxia

1995.50

Movimento de estrelas próximas  
do centro da Galáxia, observada  
desde 1992.

Massa no interior de  $\sim 130$  U.A.  
 $= 3,4 \times 10^6 M_{\odot}$ .

Indicação da presença de um  
Buraco Negro Super Massivo.




- Buracos Negros Supermassivos - evidências de sua existência começaram a aparecer com a descoberta dos Quasares (1950-60).
- Considerados os objetos mais luminosos do Universo e aparecia aí um pb da natureza de tal energia (maior que em reações termonucleares)
- Nos anos 1980-90, em que imagens de melhor resolução do Telescópio Espacial, ficou evidente que eles eram núcleos de galáxias que emitiam mais energia do que a galáxia inteira ao seu redor.
- Captura de matéria pela enorme gravidade de BN poderia liberar cerca de 10% da energia de repouso desta matéria (m):  $E = 0.1mc^2$
- A prova necessitava de uma evidência dinâmica, ou seja, observar o movimento de objetos em órbita do Buraco Negro.
- Observação do movimento individual de estrelas desde 1990, desenvolvimento de detectores no infravermelho levaram ao prêmio
- **Discussão em 2013:** O que acontecerá a uma nuvem interestelar recém descoberta próxima a Sgr A\*, que deveria em breve passar muito perto do Buraco Negro. Seria destruída por sua força de maré? Vejam no vídeo a seguir, que mostra também as estrelas observadas orbitando Sgr. A\*.

# Centro da Galáxia

## Movimento de estrelas próximas

Illustrations: Niklas Elmehed

THE NOBEL PRIZE  
IN PHYSICS 2020



Roger Penrose

“for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity”

Reinhard Genzel

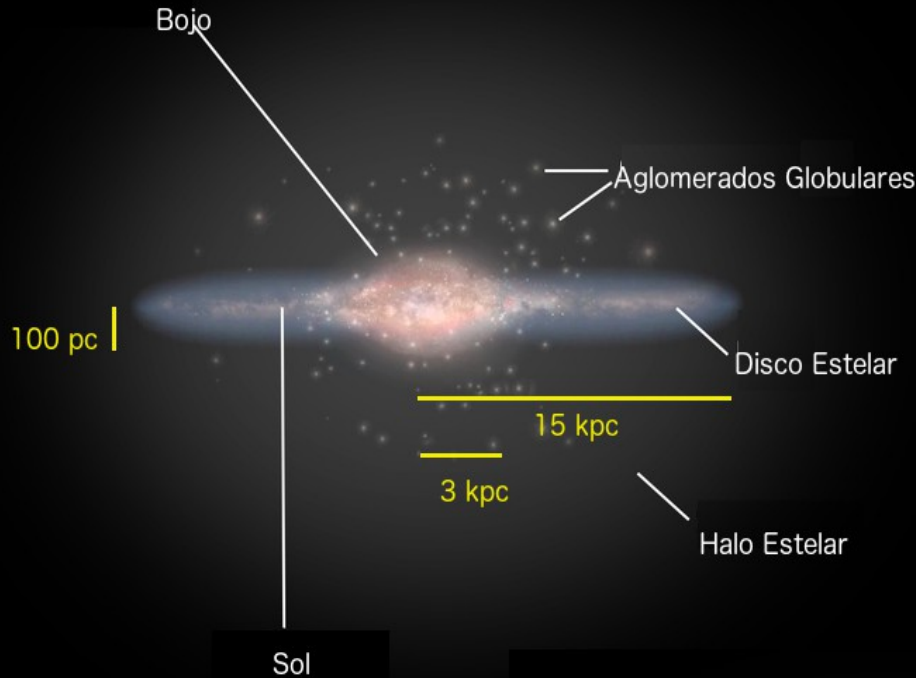
Andrea Ghez

“for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy”

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

# Componentes da Galáxia - Halo

## Distribuição e Conteúdo

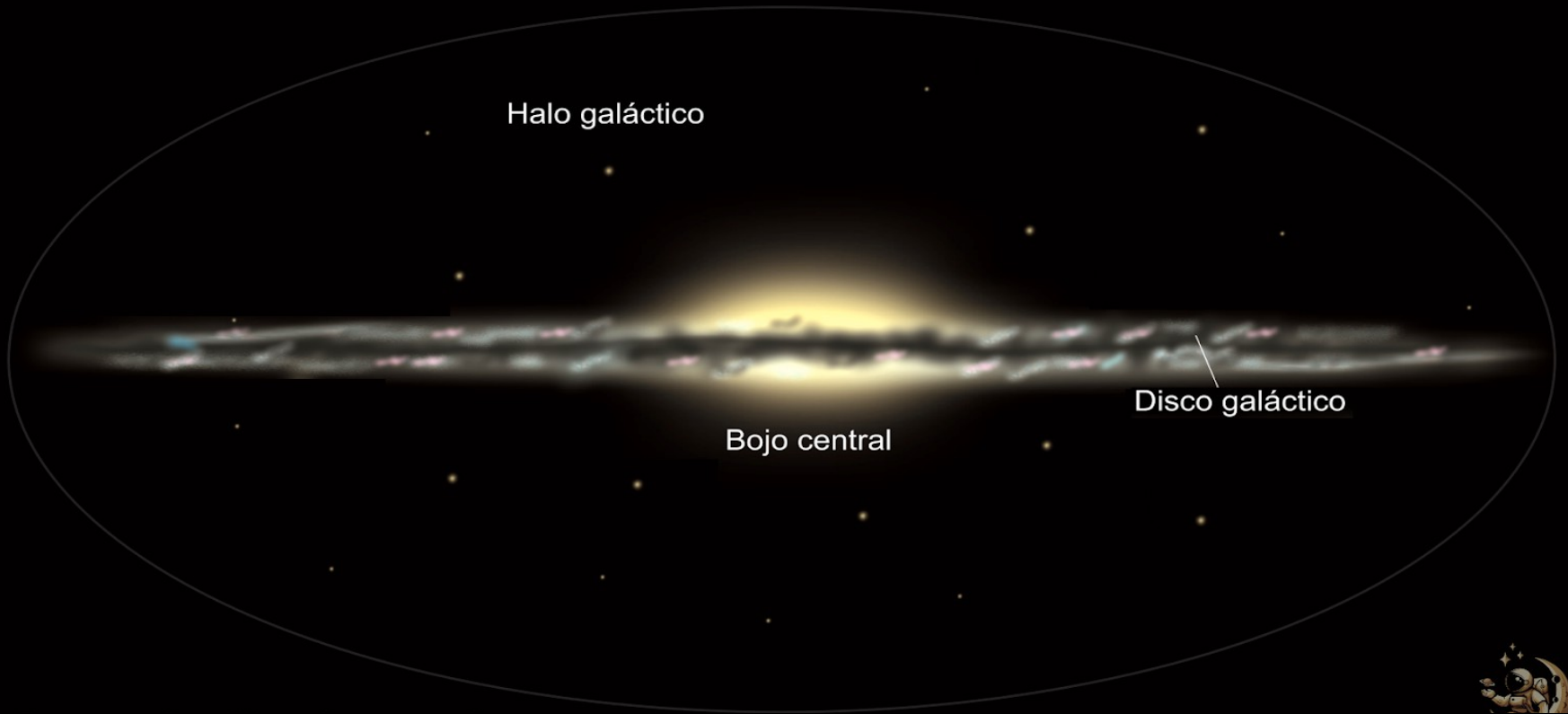


**Halo** – componente esferoidal que circunda toda a Galáxia, constituída essencialmente de **aglomerados globulares** : **população velha** (maior do que  $10^9$  anos), denominada **população II**



# Disco

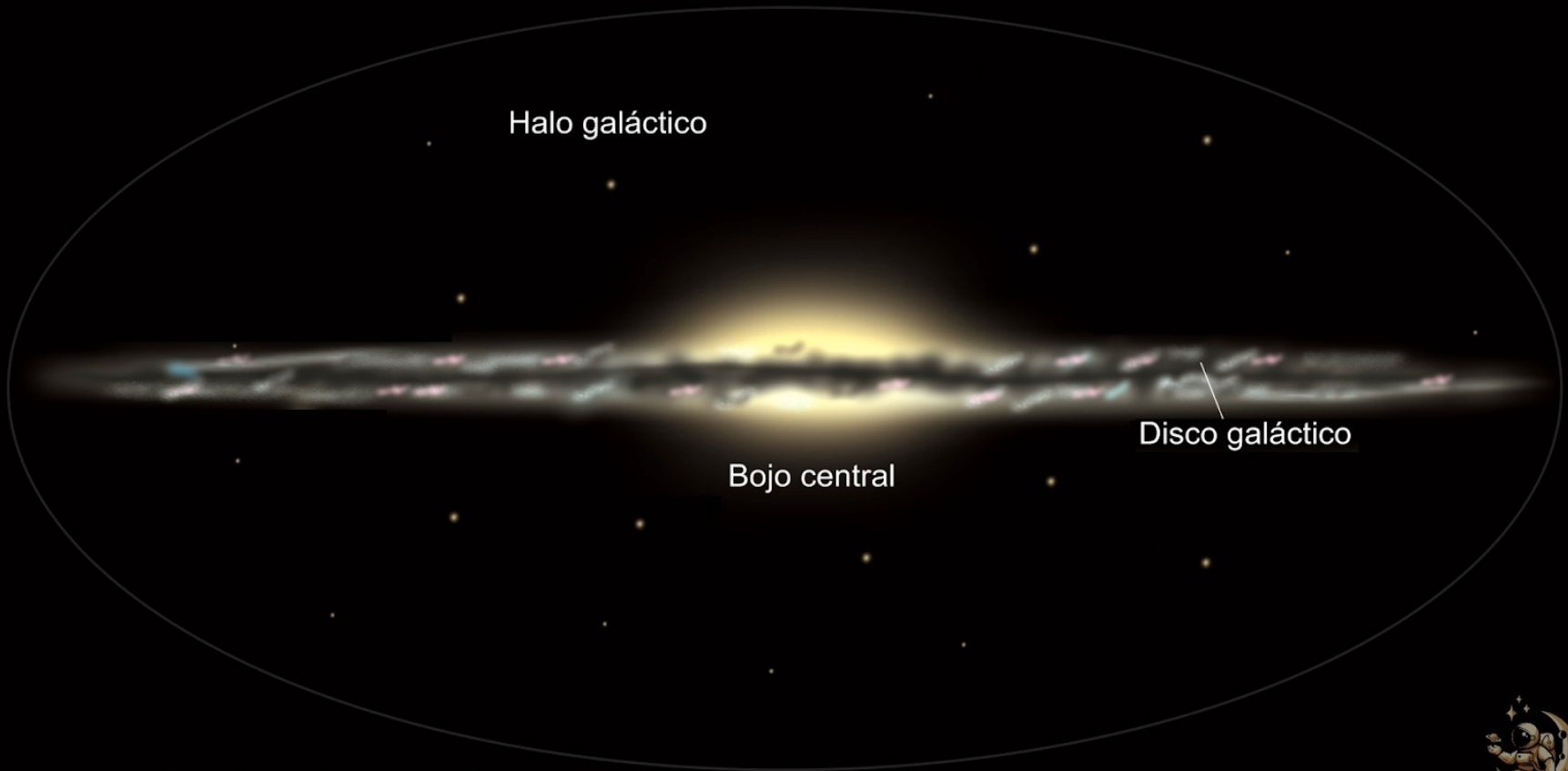
constituintes



**Disco** - constituído por gás, poeira, regiões HII, nuvens moleculares, aglomerados abertos, estrelas jovens do tipo A, O, B..., estrelas velhas e do tipo do Sol, nebulosas de emissão, nebulosas de reflexão, nebulosas escuras, componente estrutural barra e braços espirais

# Disco

dimensões

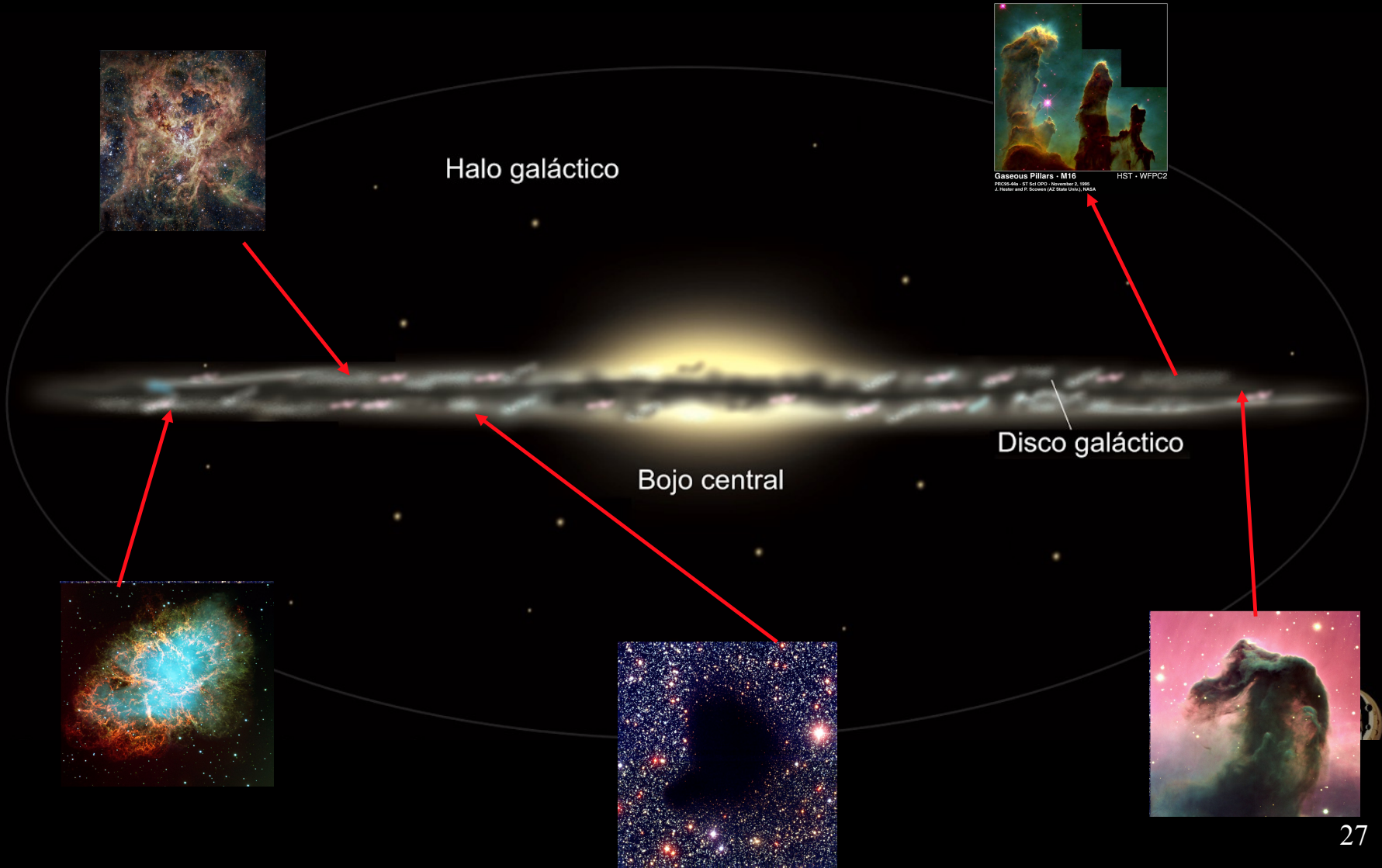


H - escala de altura do disco:  
H~60 pc para as nuvens moleculares  
H~200 pc para estrelas O-B  
H~700 pc para estrelas tipo G (Sol)



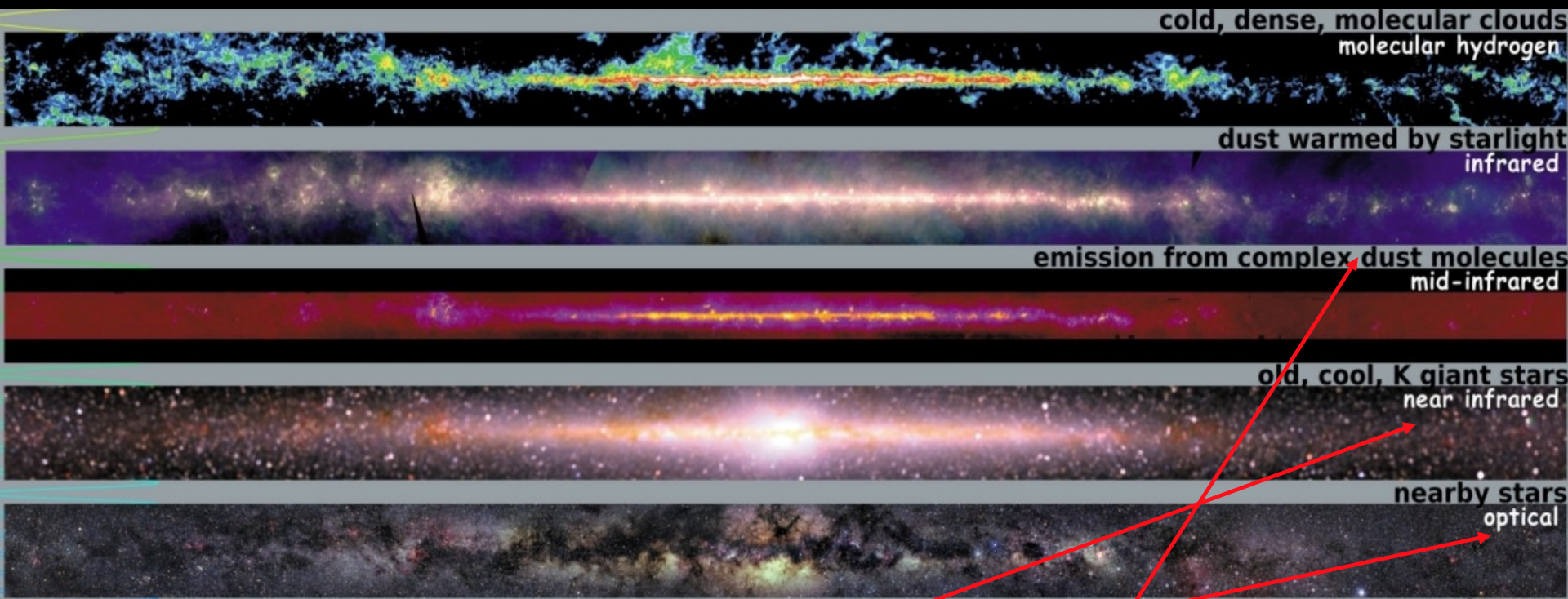
# Disco

## Meio Interestelar



# Disco em outros comprimentos de onda

360 graus



Infravermelho próximo: **estrelas frias**

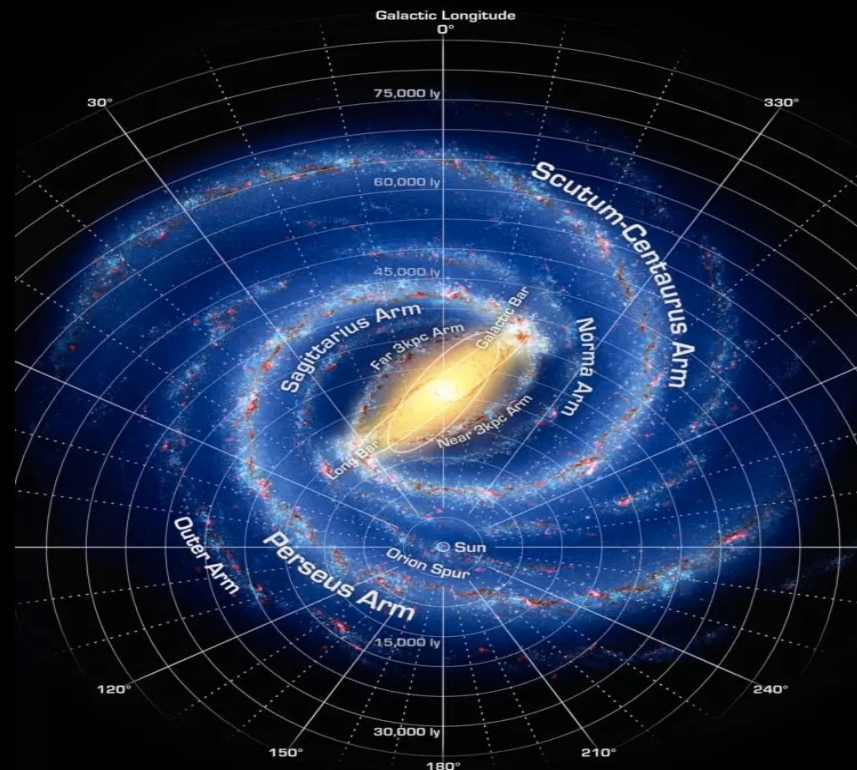
Visível: **estrelas próximas**

Infravermelho médio e distante: **poeira e moléculas**

# Via Láctea

**Classificação morfológica complexa:** Espiral SABbc (rs), com múltiplos braços

Vamos ver em maiores detalhes a complexidade da classificação quando for apresentado o cenário de classificação morfológica de galáxias em geral...



# Outras Galáxias

Descoberta de Outras Galáxias

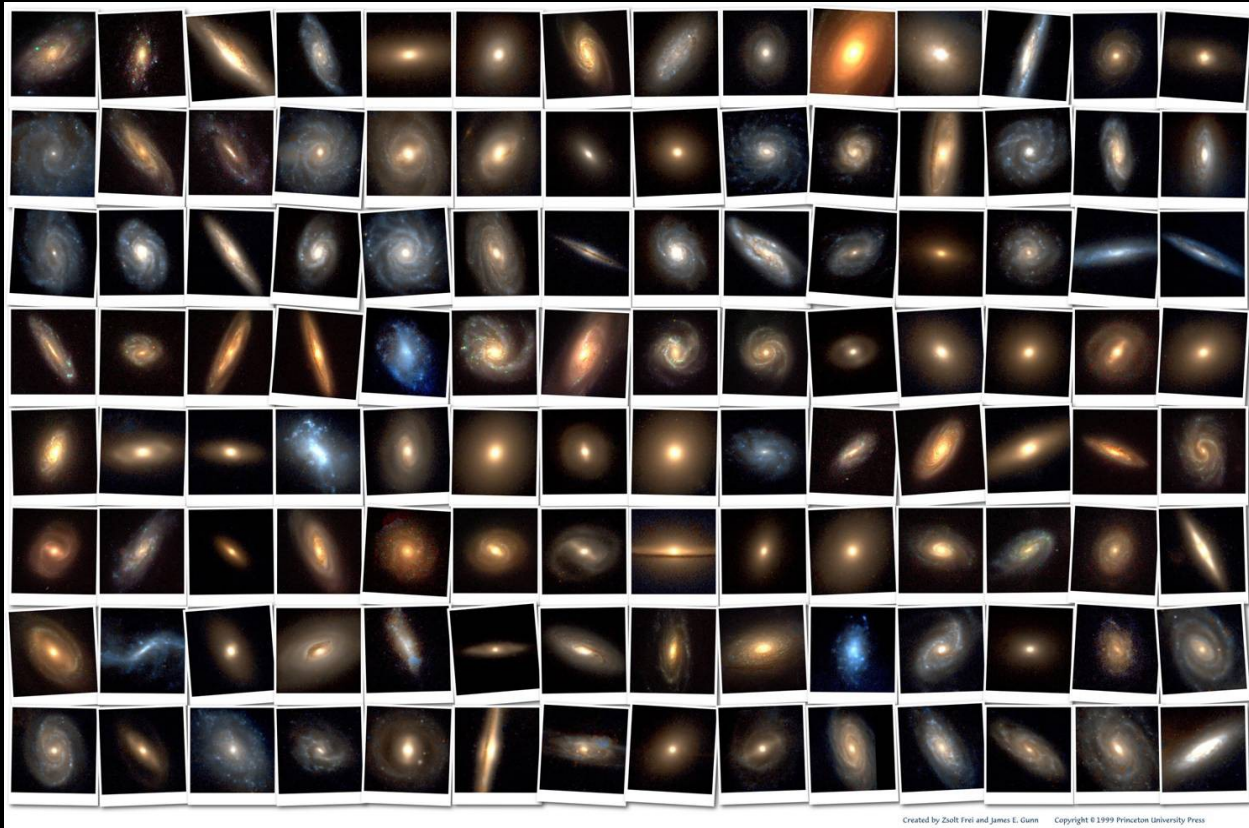
Lei de Hubble e a Expansão do Universo

Sistema de Classificação de Hubble

Traçadores da topologia do Universo

Galáxias Ativas: radiogaláxias, seyferts e quasares

# Descoberta de outras Galáxias

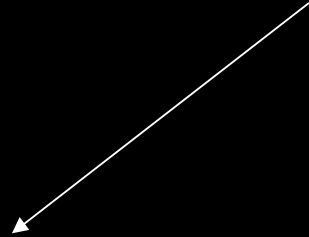


Created by Zolt Frit and James E. Gunn Copyright © 1999 Princeton University Press



# Edwin Hubble (1923-1936)

...identifica Cefeida em M31 -Andrômeda



Havia identificado em 1925, antes de Andrômeda, uma Cefeida em NGC 6822

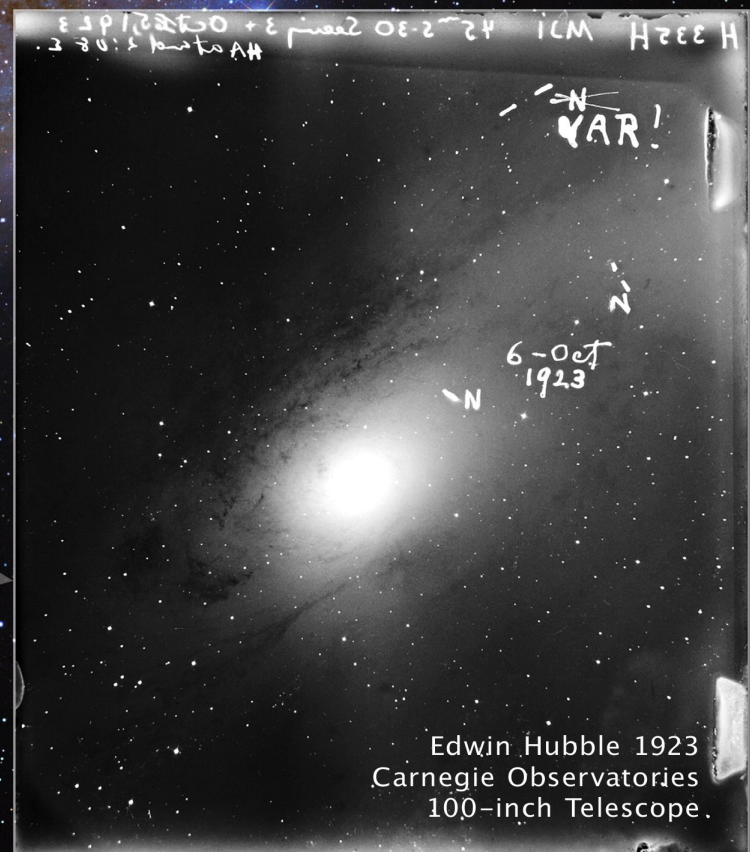




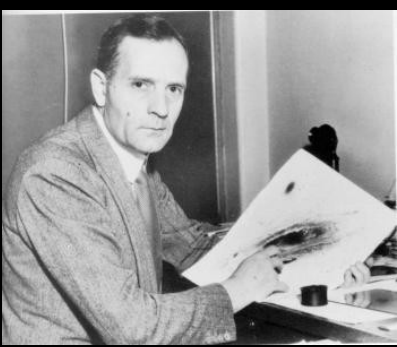
Photo: R. Gendler



Hubble Space Telescope  
WFC3/UVIS



Edwin Hubble 1923  
Carnegie Observatories  
100-inch Telescope



## Edwin Hubble - 1ª grande contribuição

Aplica a relação Período-Luminosidade descoberta por Henrietta Leavitt (slide 8) a partir da **identificação de uma Cefeida em M31 e determina sua distância**

1- Equação da Relação Período-Luminosidade (R-PL)

$$M_B = -2,222 \log P \text{ (dias)} - 1,182$$

2- Conhecia a equação do “módulo de distância”, que correlaciona a magnitude aparente (**m**) e a magnitude absoluta (**M**), com a distância, **d** :

$$m_B - M_B = 5 \log d \text{ (pc)} - 5$$

3 - Mede o fluxo da Cefeida (Mte Wilson) identificada em M31 (Andrômeda) e obtem a magnitude aparente, (**m**), pela equação abaixo:

$$m_B = -2,5 \log F_B + C$$

4 - Identificando-se uma Cefeida com período de oscilação de **P = 30 dias** e sabendo-se que a magnitude aparente no filtro B é **m<sub>B</sub> = 20**, obtem-se a distância **d** da seguinte forma:

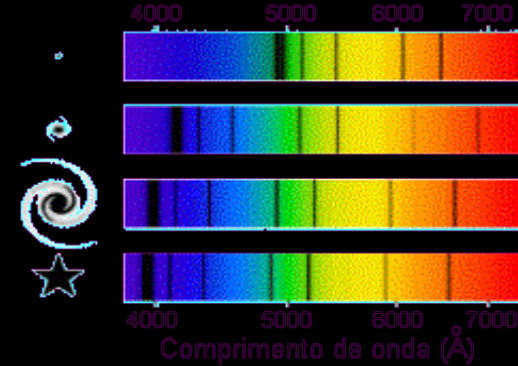
$$\text{eq. 1} \rightarrow M_B = -1,182 - 2,222 \log(30) \rightarrow M_B = -4,464$$

$$\text{eq. 2} \rightarrow m_B - M_B = 5 \log d \text{ (pc)} - 5 \rightarrow d \approx 780 \text{ Kpc}$$

**ASTRONOMIA EXTRAGALÁCTICA**



## Vesto Slipher (1875-1969)



**1912:** durante 40 anos registra espectros de diferentes objetos nebulosos e verifica a presença de linhas espectrais desviadas pelo efeito Doppler. A partir da relação abaixo pode-se calcular a velocidade de recessão ( $V_r$ ):

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\text{lab}}} = \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_{\text{lab}}}{\lambda_{\text{lab}}} = \frac{V_r}{c} = Z$$

onde  $\lambda$  representa os comprimentos de onda observado (obs) e de laboratório (lab) ou em repouso,  $V_r$  a velocidade radial de recessão, e  $Z$  é definido como sendo

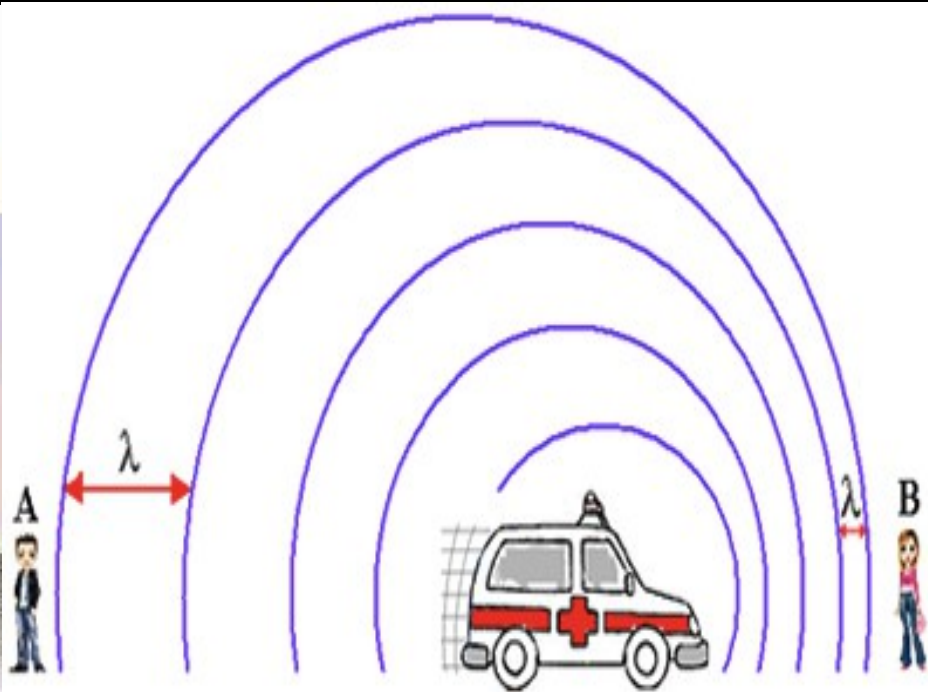
O Efeito Doppler é responsável pelo deslocamento das linhas no espectro...

Se a **fonte de luz se afasta** o deslocamento das linhas ocorre em direção ao vermelho, ou seja, “**redshift**”

Se a **fonte de luz se aproxima**, vai ocorrer deslocamento das linhas para o azul “**blueshift**”

# Lembrando o Efeito Doppler do Som...

## Doppler Effect: Police Siren



Afastamento  
Som mais grave  
( $f_o < f_f$ )

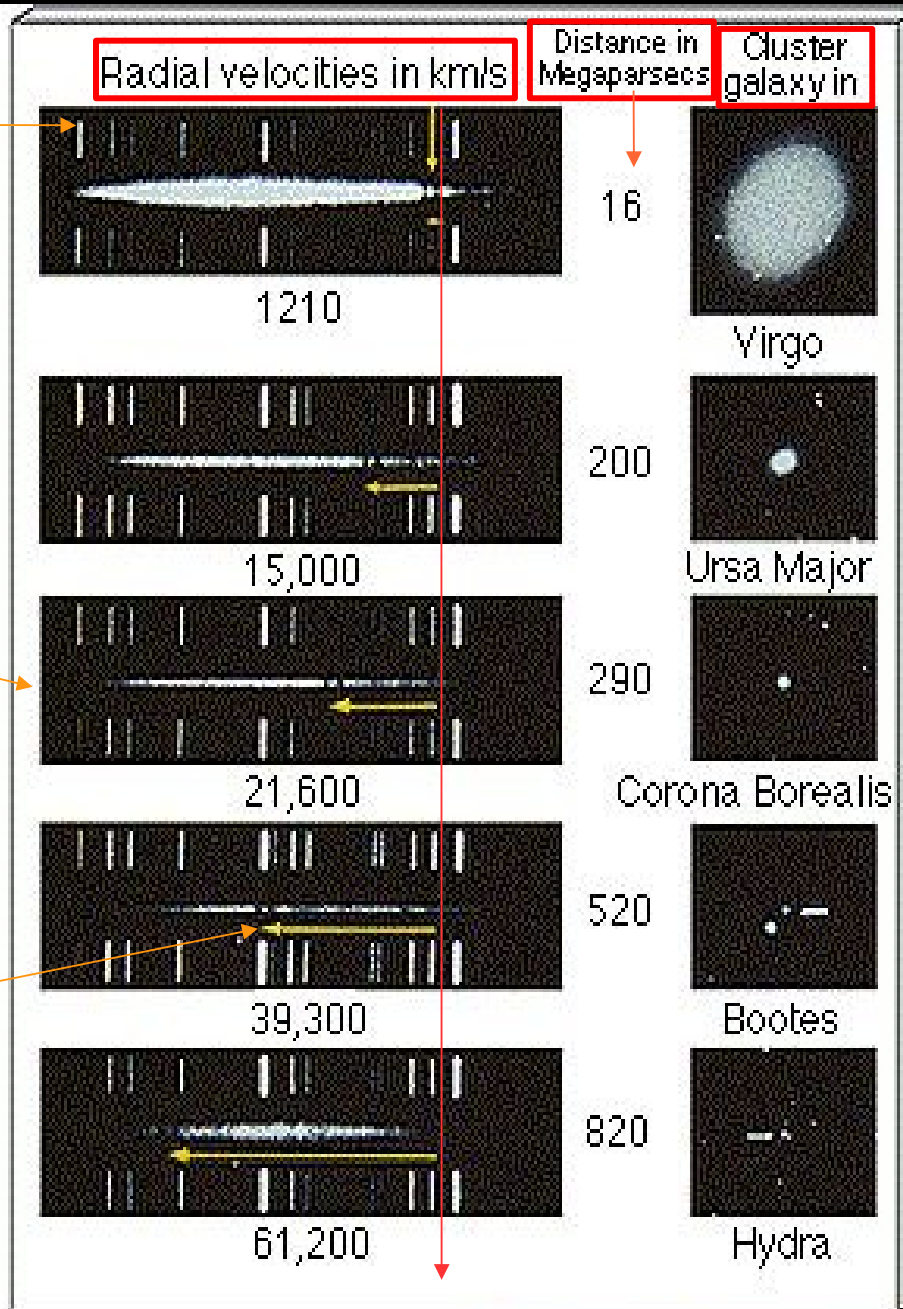
$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$$

Aproximação  
Som mais agudo  
( $f_o > f_f$ )

As linhas verticais observadas nas imagens ao lado indicam as linhas do espectro de laboratório, portanto linhas em repouso.

No centro das imagens vemos o espectro real das galáxias.

As flexas amarelas horizontais indicam, o deslocamento das linhas, ou seja, a diferença entre o comprimento de onda da linha de laboratório e a da galáxia observada



$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Abaixo das 1as figuras ao lado temos as velocidades radiais

Os números entre as imagens da coluna 1 e da 2 indicam os valores de distância em Mpc.

Na última coluna pode-se ver as imagens das galáxias estudadas.

Hubble utiliza as medidas da **velocidade de recessão** obtidas por Slipher e **constrói um gráfico da distância (D) em função da velocidade radial de Recessão ( $V_r$ )**,.... e faz uma das maiores descobertas da Astrofísica Extragaláctica...!!!!

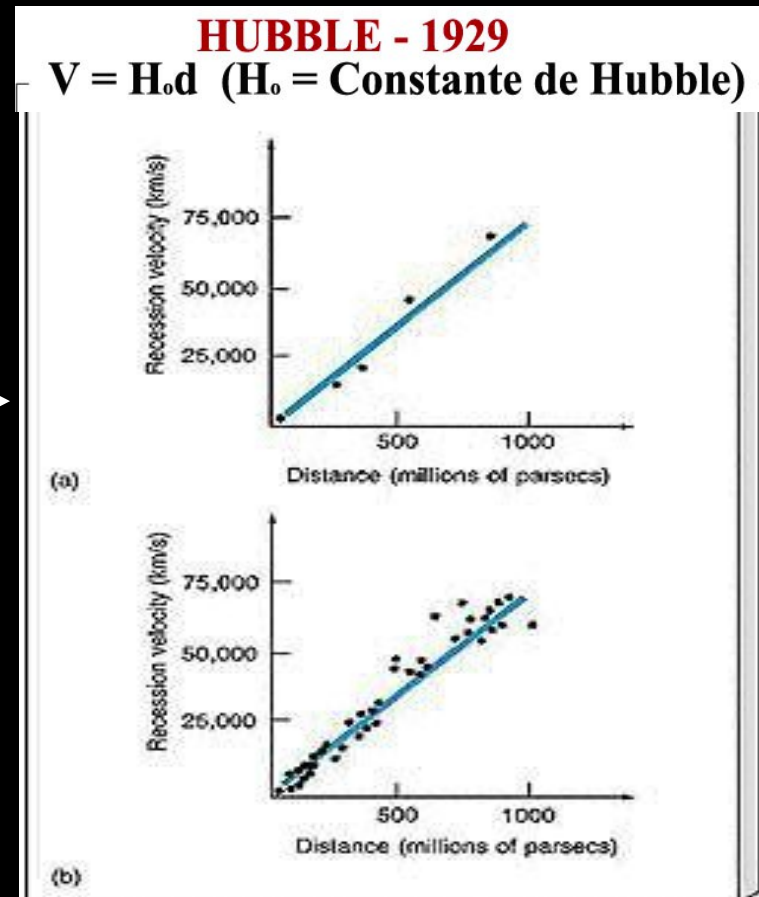
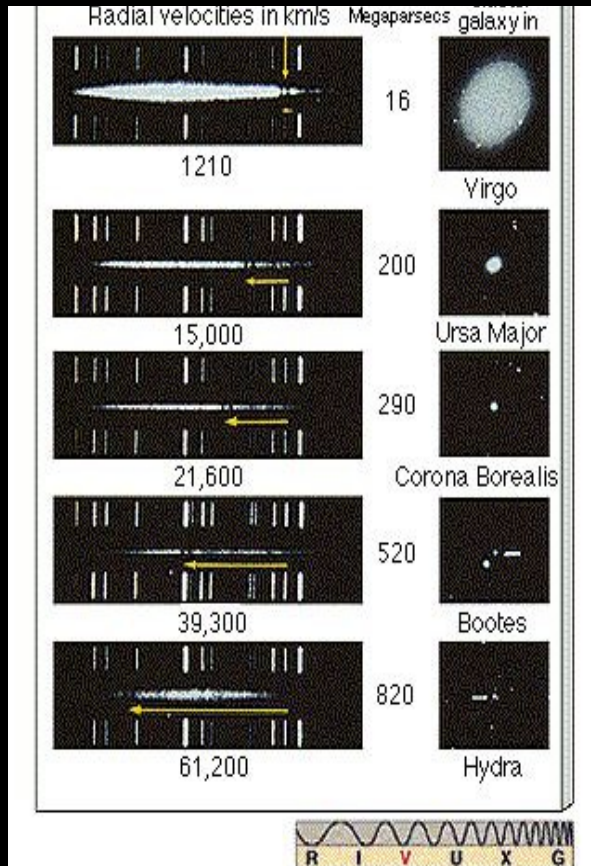
Vamos ver.....

# 2ª grande contribuição – Lei de Hubble (1923-1936)

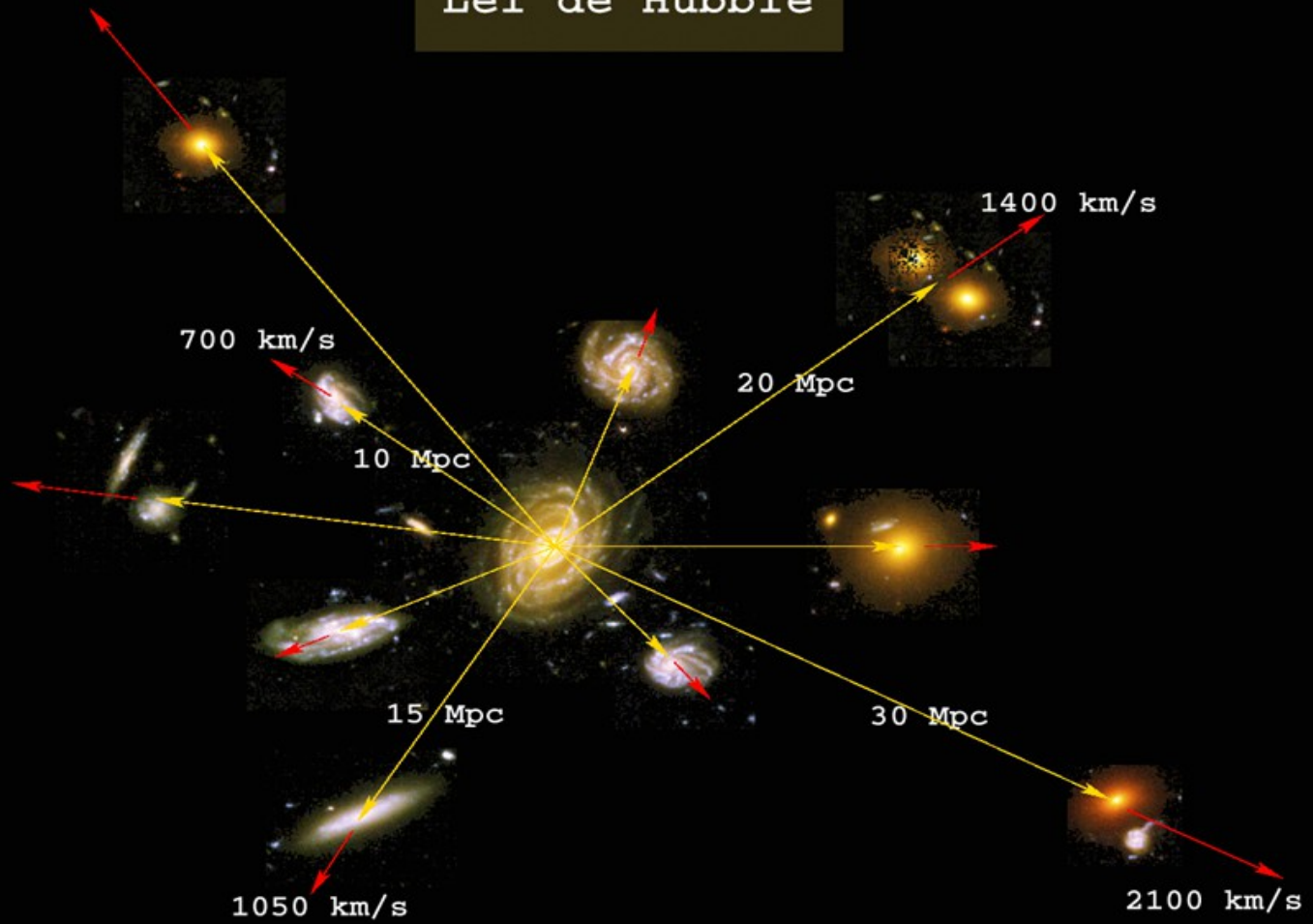
Interpretação dos deslocamentos das linhas espectrais em galáxias → **Expansão do Universo**

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\text{lab}}} = z = \frac{v_r}{c} = \frac{H_0 d}{c} \rightarrow H_0 = (71.9 \text{ km/s/Mpc}) = \frac{v_r \text{ (Km/s)}}{d \text{ (Km)}}, T_H = \frac{1}{H_0}$$

Tempo Hubble



# Lei de Hubble

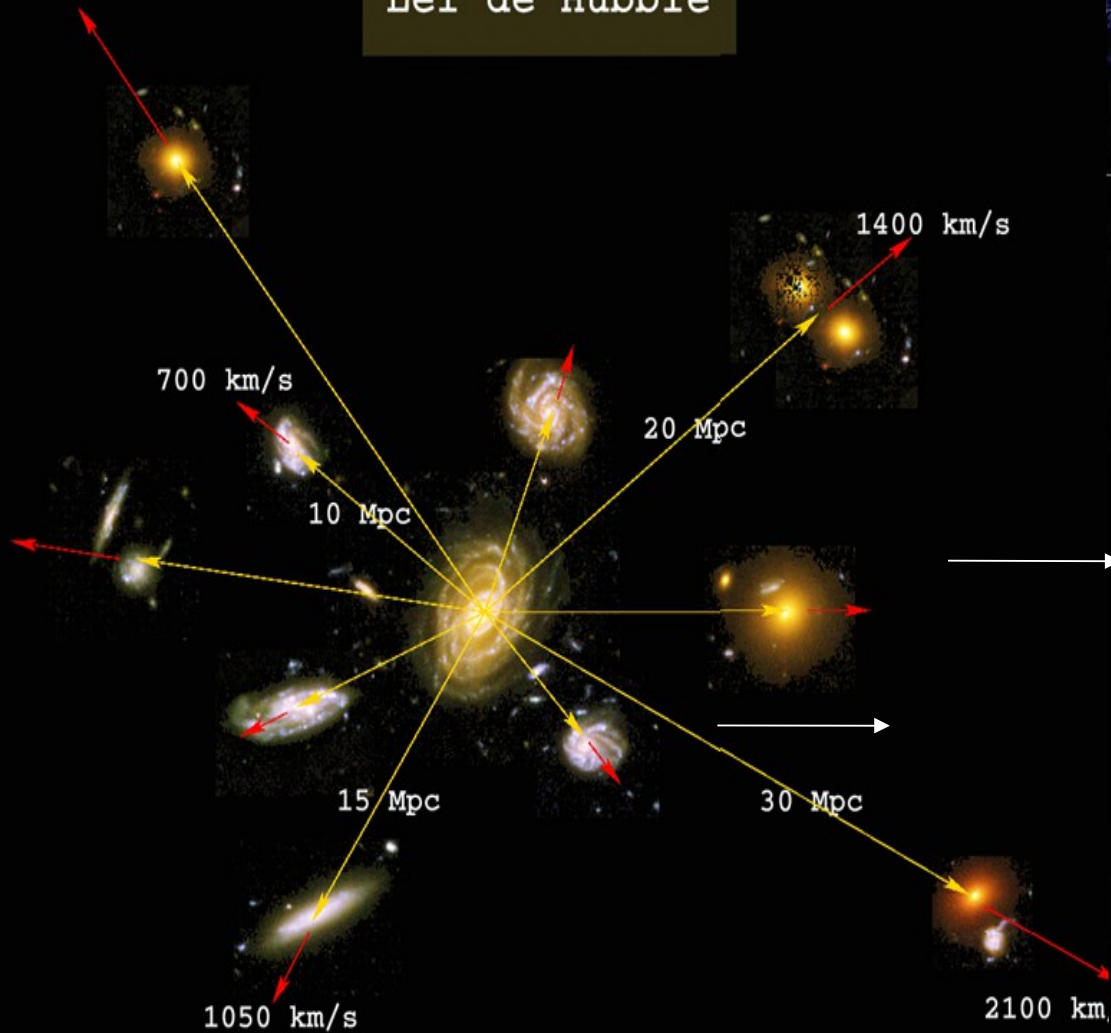


$$\text{Velocidade} = H_0 \times \text{distância}$$



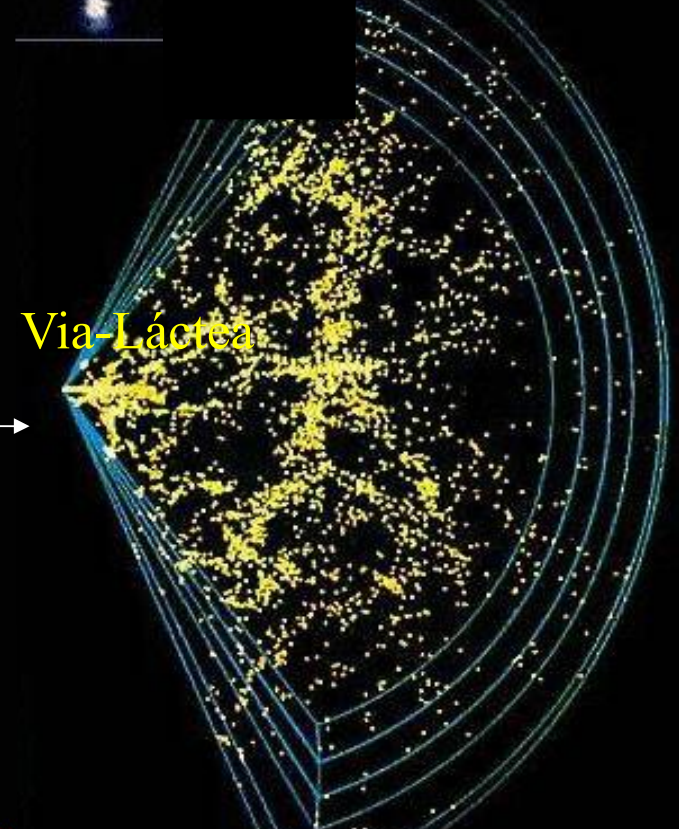
# Distancias de galáxias → “topologia” do Universo

Lei de Hubble



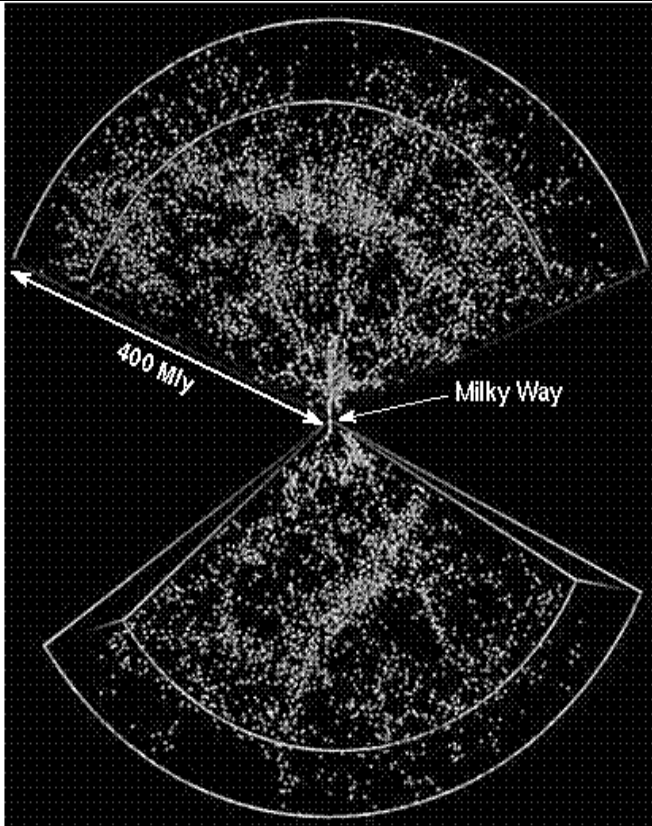
$$\text{Velocidade} = H_0 \times \text{distância}$$

Representação de uma fatia do espaço, de dimensão da ordem de 150.000 kpc da Terra. Cada ponto amarelo representa uma galáxia.

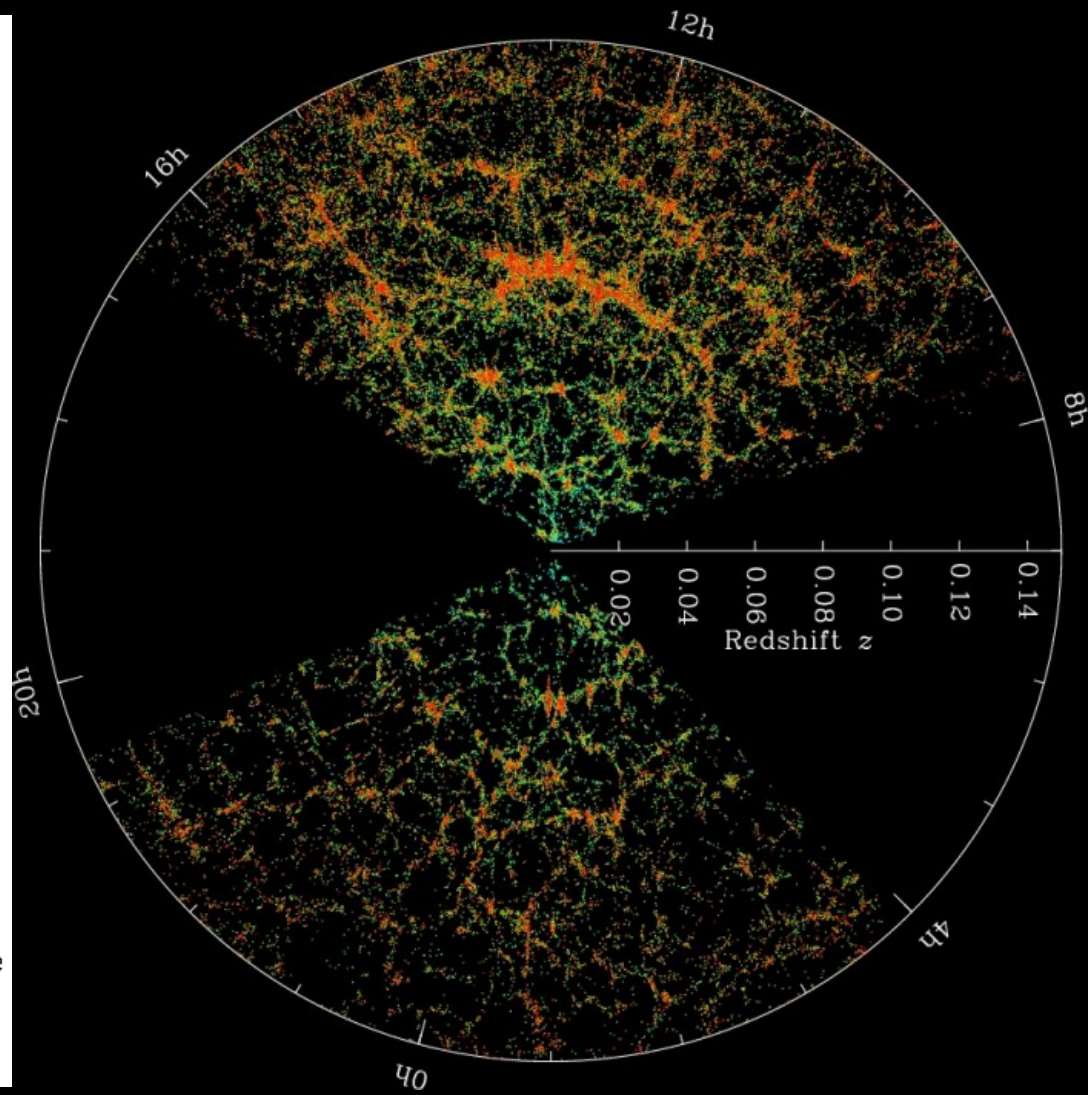


4000 galáxias mapeadas aqui representam menos de um décimo milionésimo do número total no universo observável.

## Resultado de vários “Surveys”



Two 3D "slices" of the nearby part of the universe. Distribution of galaxies is not random or uniform: galaxies cluster together and galaxy clusters are close to other galaxy clusters---superclusters. Galaxy superclusters form long, narrow bands with large voids between them. Note the "Great Wall" across the middle of the top slice.



# Galáxias – são os traçadores da topologia do Universo

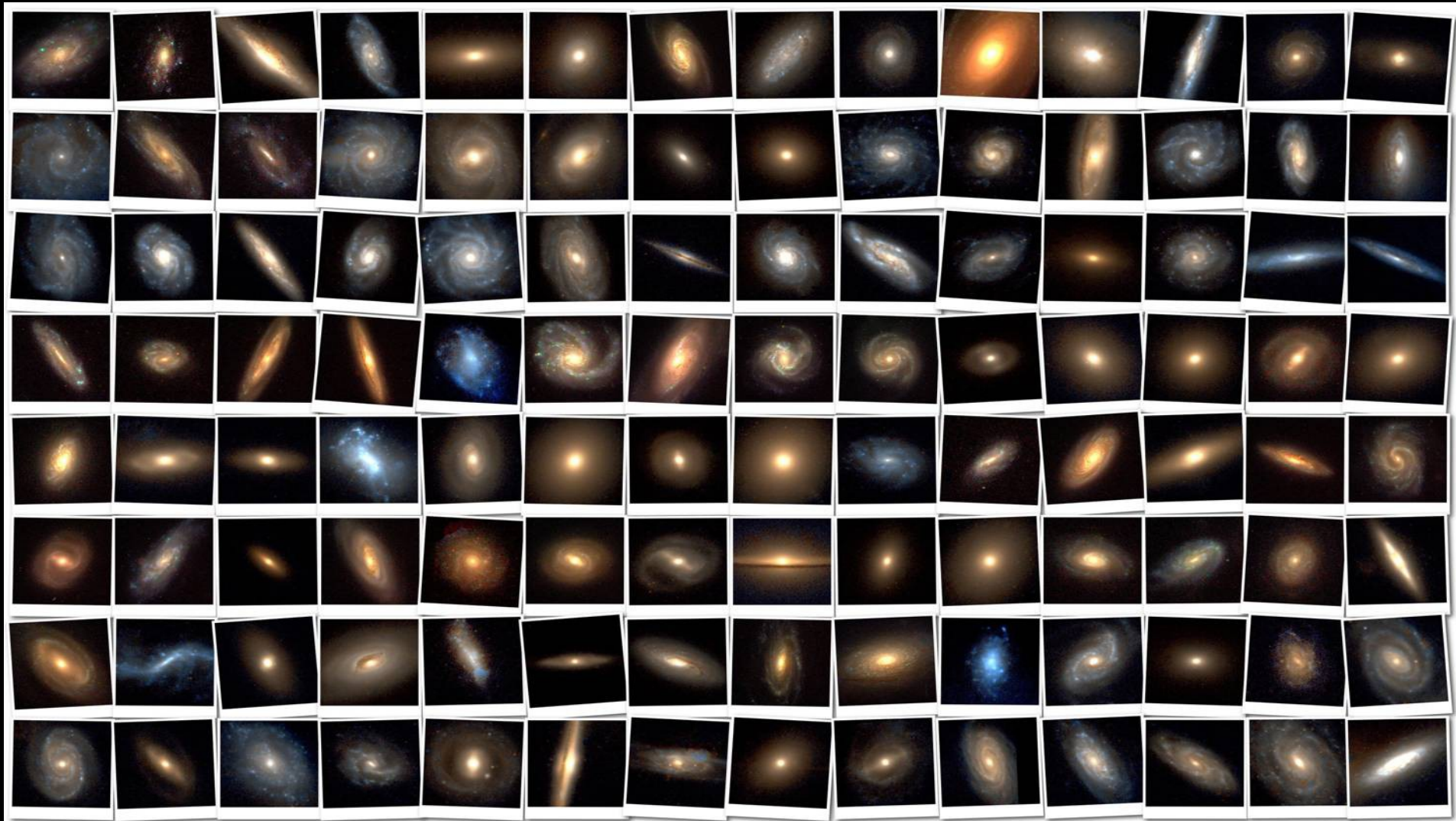
Estes sistemas são semelhantes na forma ?

E no conteúdo?

Como se formaram?

Que mecanismos físicos são responsáveis pelas morfologias observadas?

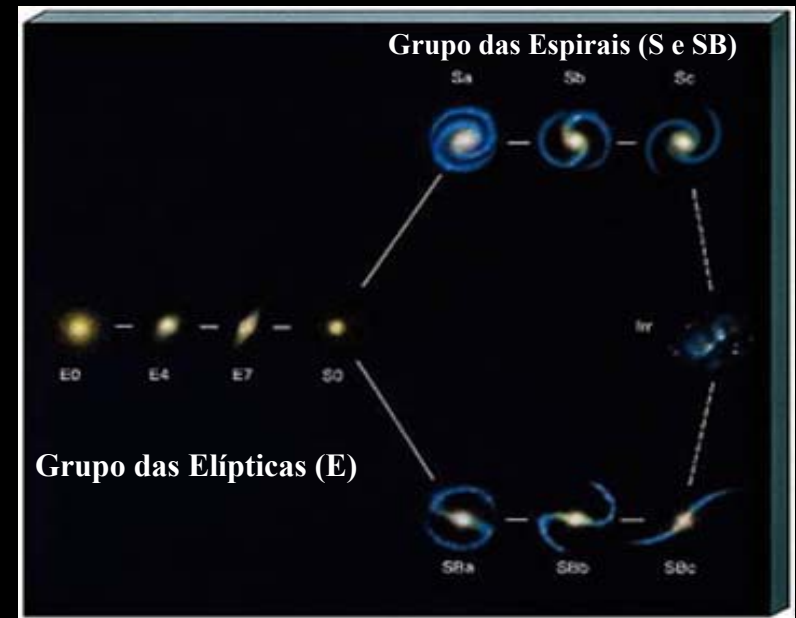
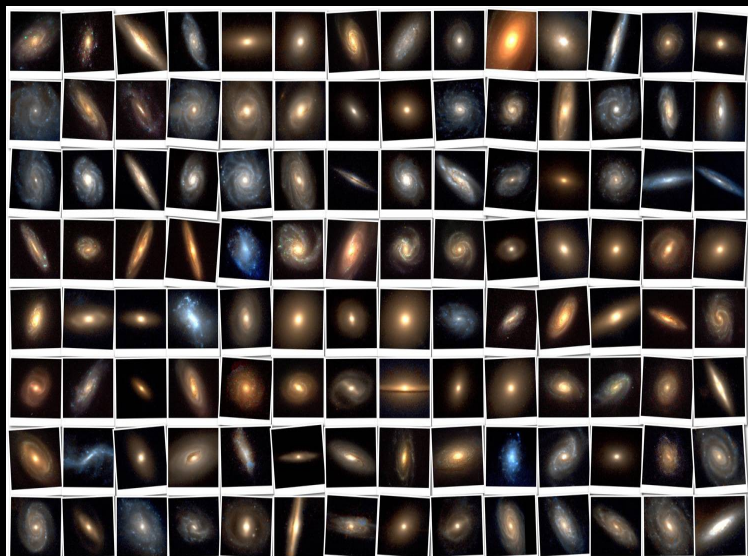
# Hubble observou uma enorme diversidade morfológica entre galáxias próximas e brilhantes



# Edwin Hubble - 3ª grande contribuição

Hubble (1926-1936) propõe um Sistema de Classificação Morfológica, esquematizado na figura abaixo, conhecido também como Diagrama em Diapasão (D-TF)

Agrupa diferentes morfologias em diferentes classes, como as Elípticas (E), Lenticulares (SO), as Espirais (S) e as Irregulares (Irr)



As **E** apresentam uma única estrutura que varia desde a forma esférica até as mais achatadas, com luminosidade suave, e de **coloração mais avermelhada**.

As **S** apresentam 2 famílias, muitas sub-estruturas (**bojo, disco, barras, halo**) e cor mais azulada.

Quase 1 década após a proposta do Sistema de Classificação de Hubble...



## Walter Baade

...introduz o conceito de “populações estelares”

M<sup>te</sup> Wilson Observatory

1944: Conferência no Vaticano mostra que **diferentes componentes das galáxias**, abrigam **diferentes populações estelares** sugerindo o conceito de População Estelar.

**População estelar de componentes esferoidais (bojo e halo)** é relativamente **mais velha que a de discos**. São estrelas com abundâncias muito **baixas em elementos químicos pesados**, ou seja, **pobre em metais**, como o C, O, N, Si, Mg, Fe, e conseqüentemente mais avermelhadas.

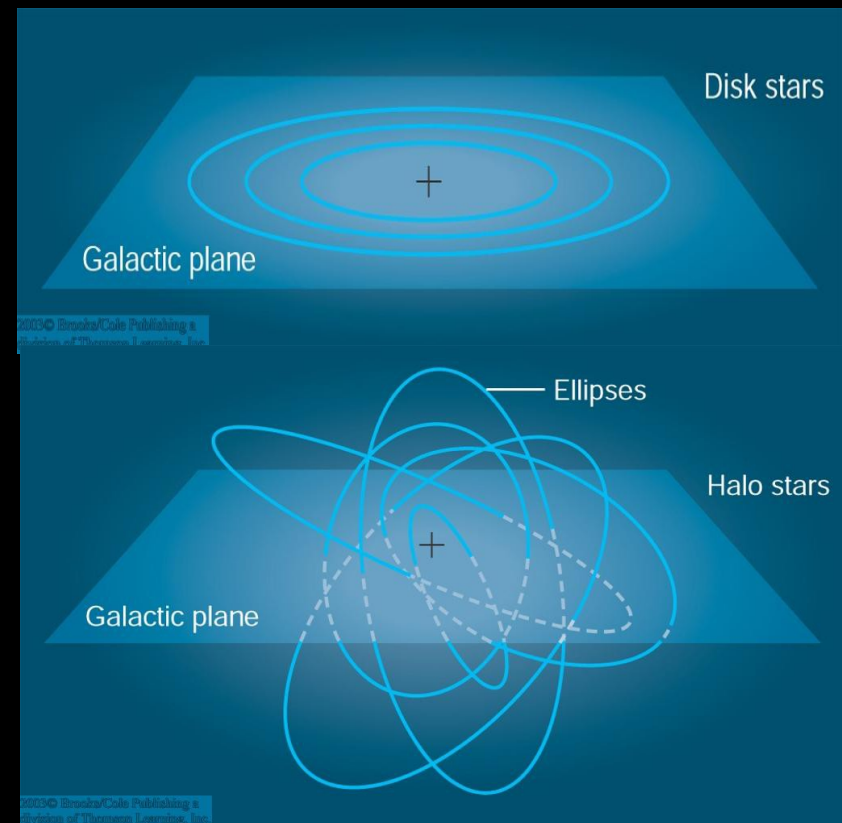
**População do disco achatado é mais jovem**, mais azulada, com **proporções maiores de elementos pesados** e, portanto, **ricas em metais**.



Outros pesquisadores verificam que as diferentes populações estelares tem **comportamento cinemático diferentes...**

População jovem = população I:  
assentada no disco, estrelas azuladas  
possuem predominantemente rotação

População velha = população II:  
depositada nas componentes  
elipsoidais/esferoidais (halo e bojo),  
estrelas avermelhadas e pobres em  
metais, possuem predominantemente  
dispersão de velocidades



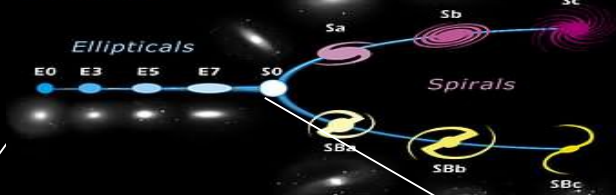


O conjunto destas propriedades, ou seja, da estrutura, da população estelar e da cinemática, para cada uma das classes identificadas por Hubble, nos leva a ter o seguinte cenário...

# Elípticas (E)

Galáxias que se encontram no início do SCH e conhecidas como “early-type”

Edwin Hubble's Classification Scheme



## 1- Estrutura – estudada via fotometria

1 única componente com morfologia elipsoidal e com diferentes graus de achatamento ( $e$ ):

$$(E_0 \text{ até } E_7) \rightarrow e = 1 - b/a$$

## 2- Cor - aproximadamente $c^{te}$ e avermelhada...

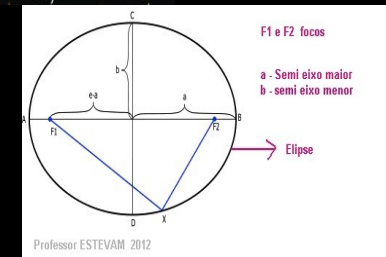
sugerindo 1 única pop. estelar dominante (pop II) velha

## 3- Cinemática

domínio de velocidade anisotrópica, ou seja, estrelas possuem movimento aleatório, ou seja, “dispersão de velocidades”

## 4- MIS (gás + poeira)

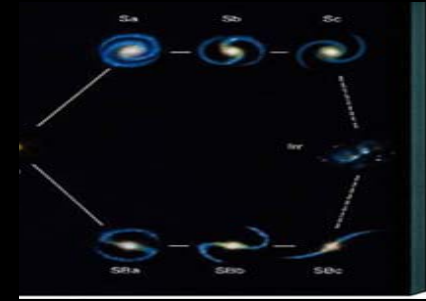
quase desprovidas de gás e poeira



# Espirais

2 grupos ou famílias de galáxias:

Espirais comuns (**S**) e Espirais barradas (**SB**)

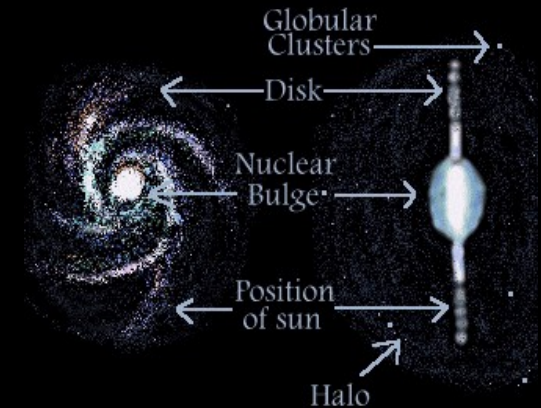


## - Estrutura, cor e cinemática

Mais complexa do que as E pq tem várias componentes:

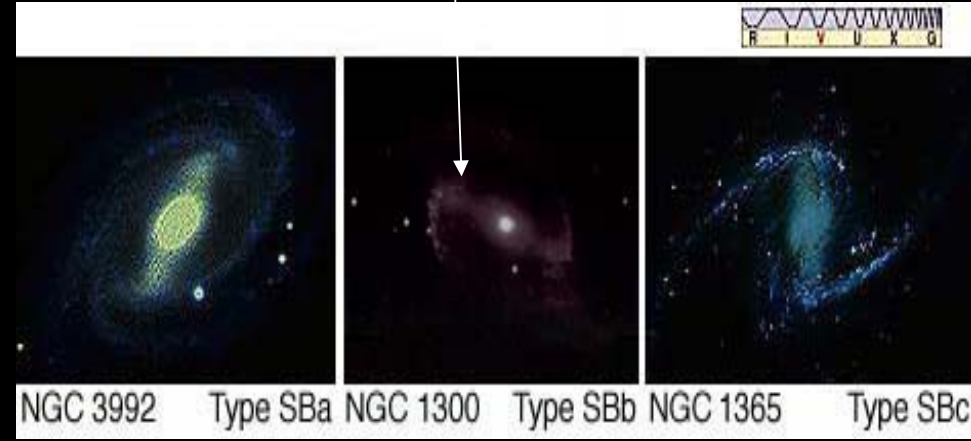
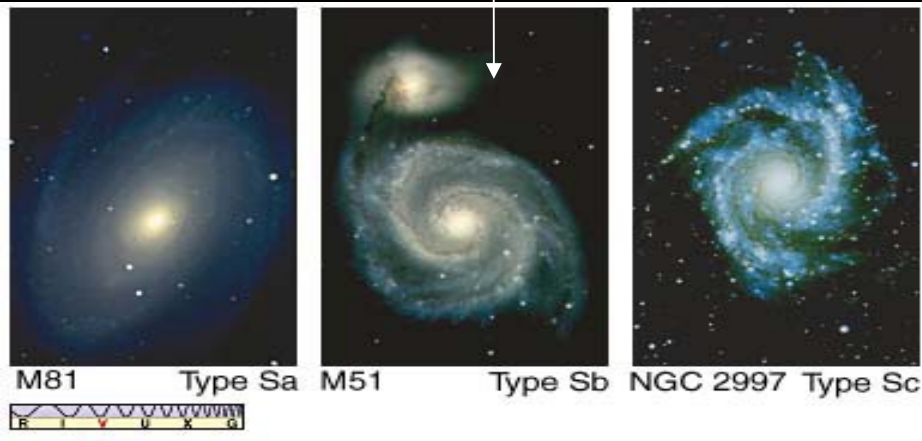
(**S**) algumas vezes, barra (**SB**)

- **Bojo e Halo** com morfologia esferoidal, cor avermelhada representando população velha (pop. II) ; **dispersão de velocidade**

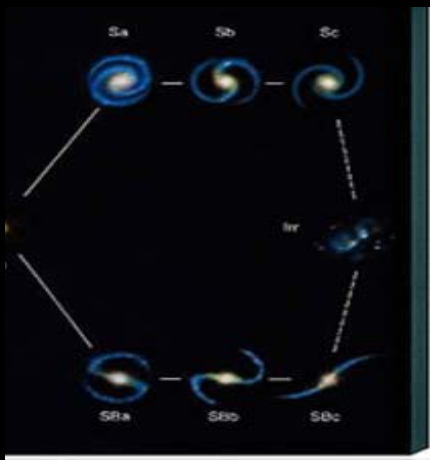


- **Disco** com morfologia achatada contendo braços espirais e algumas vezes barras e/ou anéis, **cor azulada** representando predomínio de população jovem (pop. I); **rotação** é preponderante

(S) ← Espirais → (SB)



Estas famílias de espirais, (S) ou (SB), (Sa-SBa, Sb-SBb, Sc-SBc), podem ser diferenciadas considerando a dimensão relativa do bojo e o grau de enrolamento dos braços. Também conhecidas como **late-type**



**Sa --> Sb --> Sc**

**SBa --> SBb --> SBc**



- ...ordem decrescente dos bojos de **a** para **c**
- ...ordem de braços mais desenrolados de **a** para **c**
- ...ordem crescente de gás + poeira das **E** para as **S**

Vamos ver na próxima aula a conclusão do Sistema de Classificação feito por Hubble, além de galáxias que não foram incluídas neste Sistema, como as peculiares.

Veremos também galáxias denominadas “ativas”....