



Galáxias

(c) 2009/2014 Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira



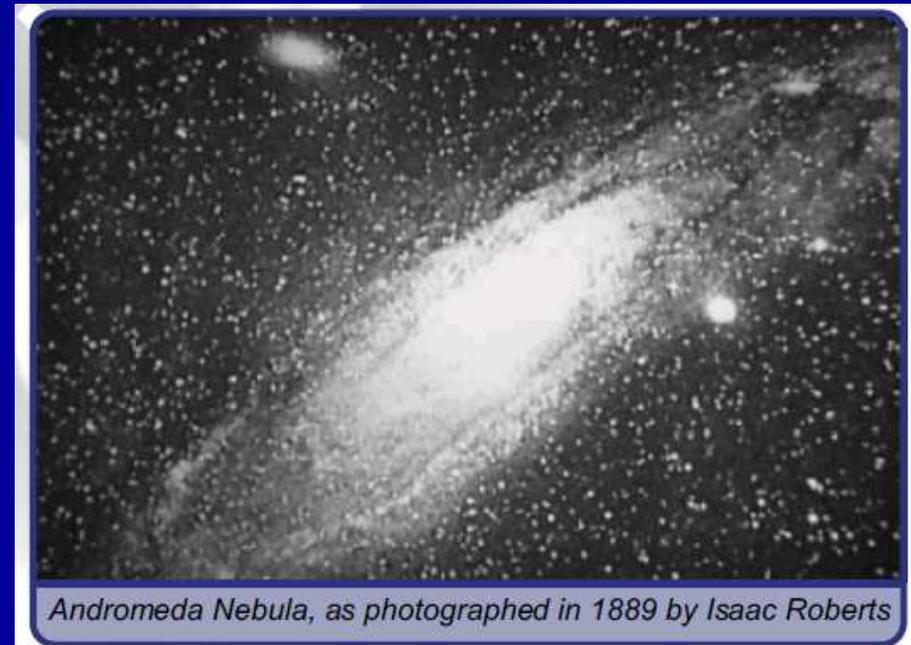
No início do século XX uma das questões em aberto na Astronomia estava relacionada com a natureza das diversas nebulosas espirais observadas.

Fariam parte da Nossa Galáxia, ou pelo contrário, seriam objetos muito mais distantes semelhantes em estrutura e dimensão à nossa própria galáxia?

Tudo mudou em 1923 quando E. Hubble detetou estrelas cefeides na então designada nebulosa de Andrómeda (M31).

Foi, assim, finalmente possível determinar a distância a M31.

Esta descoberta mudou radicalmente a nossa visão do Universo.



Andromeda Nebula, as photographed in 1889 by Isaac Roberts

<http://science-stories.org/stories/universe.pdf>



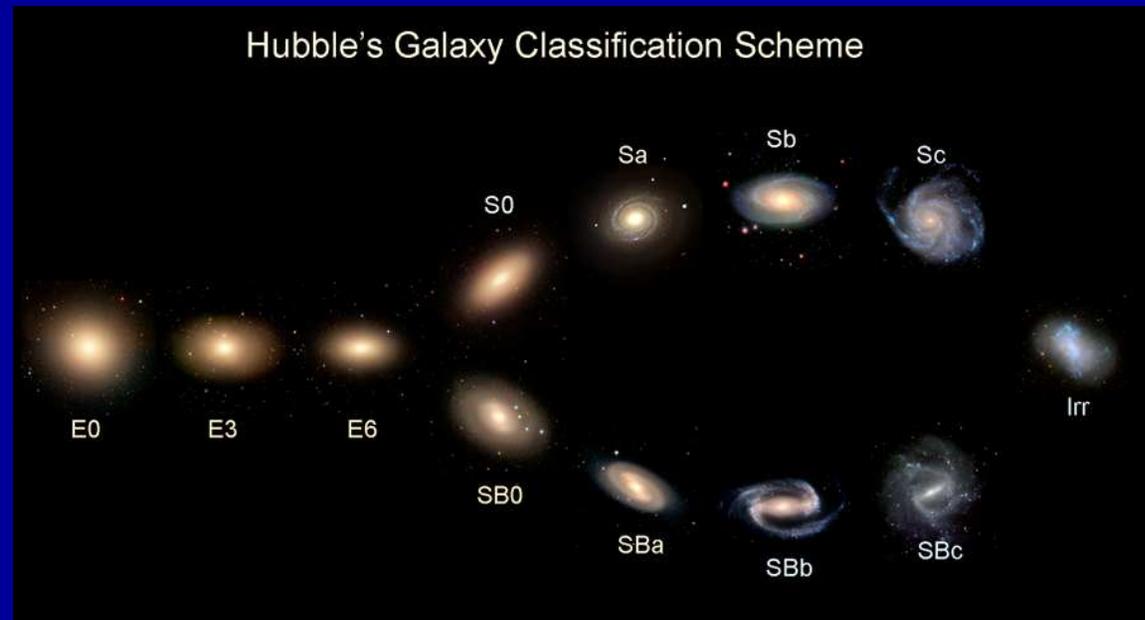
Classificação morfológica

As galáxias são, em geral, classificadas de acordo com a sua aparência.

O esquema de classificação mais comum é o proposto por Hubble (neste a classificação tem em conta apenas o aspeto da galáxia quando observada na banda do visível e não a sua forma ou aspeto quando observada noutras bandas do espectro eletromagnético).

O esquema de Hubble contempla as classes:

- S** – espirais
- SB** – espirais barradas
- E** – elípticas
- Irr** – irregulares





Galáxias espirais (S):

- Caracterizam-se por um disco circular e um bolbo nuclear esférico.
- O disco apresenta braços espirais onde dominam estrelas azuis (estrelas jovens) da população I.
- São abundantes as regiões HII nas quais se processa ainda a formação de novas estrelas.

No diagrama de Hubble as galáxias espirais subdividem-se em:

Sa - grande zona central e braços espirais suaves e dispersos.

Sb - zona central moderada e braços espirais moderadamente definidos.

Sc - pequeno núcleo central e braços espirais estreitos e bem definidos.



Nas Sa os gases e poeiras totalizam 5% da massa total.

Nas Sb a percentagem sobe para 10% e nas Sc ascende a 15%.



M81

Type Sa



M51

Type Sb



NGC 2997

Type Sc

<http://www.castlerock.wednet.edu/HS/stello/Astronomy/TEXT/CHAISSON/BG315/HTML/BG31501.htm>



Portanto, é nas galáxias Sc onde existem mais estrelas em formação.



Espirais Barradas (SB):

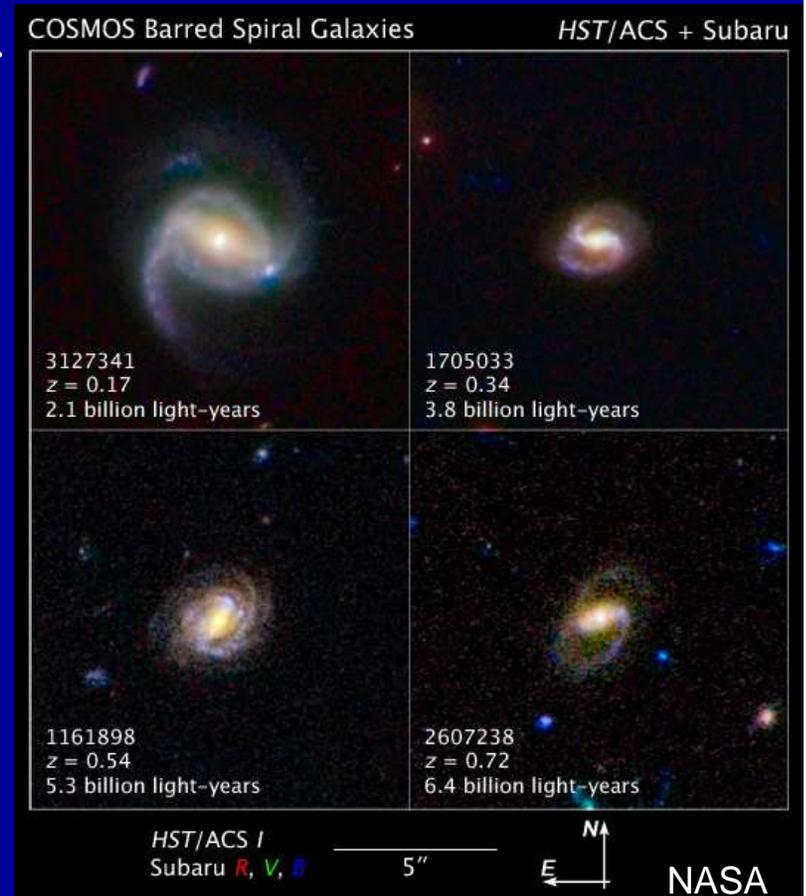
Neste tipo de galáxias os braços em espiral não saem de um núcleo central esférico mas sim de uma barra que atravessa o núcleo da galáxia.

Estas subdividem-se em **SBa**, **SBb** e **SBc**.

As SBc são mais ricas em gás e poeiras que as SBa.

As barras parecem surgir naturalmente no processo de formação de galáxias como mostram as simulações.

As galáxias SB são **2** vezes mais abundantes do que as galáxias S normais.





Nem todas as espirais têm barras.

Se a galáxia tiver um halo de matéria escura com massa acima de um determinado valor não desenvolve uma barra.

Nas galáxias espirais existe mais matéria escura do que nas espirais barradas.



NGC 3992

Type SBa



NGC 1433

Type SBb



NGC 1300

Type SBc





Elípticas (S):

-são galáxias com forma elíptica sem braços espirais e que não apresentam quaisquer detalhes estruturais na sua aparência.

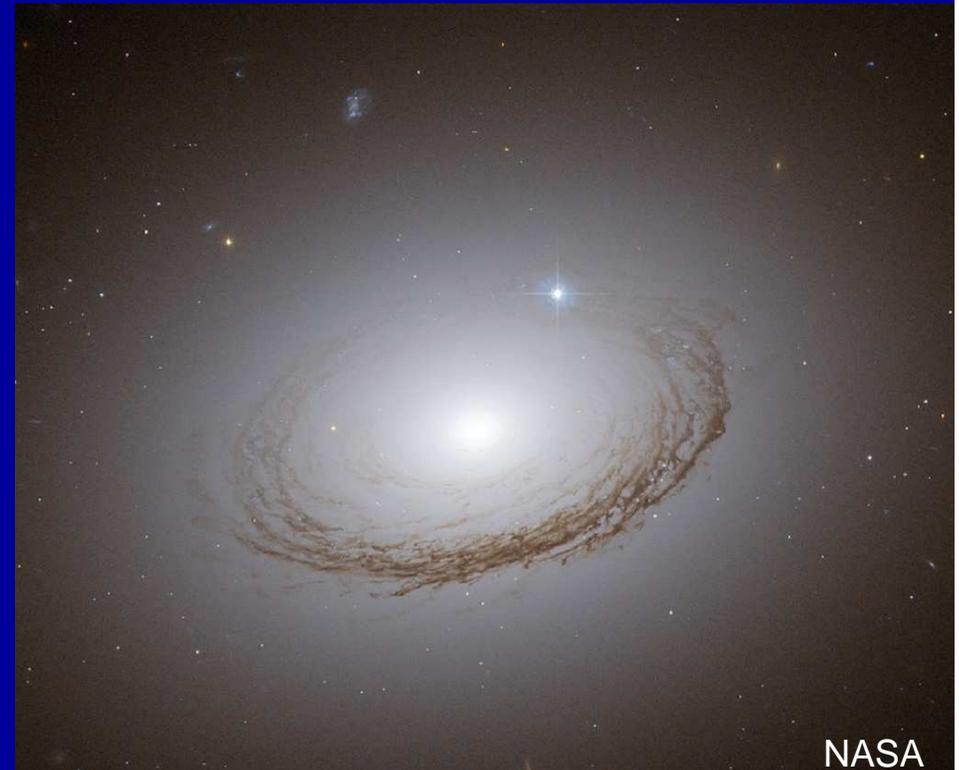
No esquema de Hubble estas subdividem-se nas classes E0 a E7. As E0 são redondas e as E7 são as mais elípticas.

Este índice é determinado por:

$$F = \frac{a-b}{a} \times 10$$

onde **a** é o semieixo maior e **b** o semieixo menor da elipse.

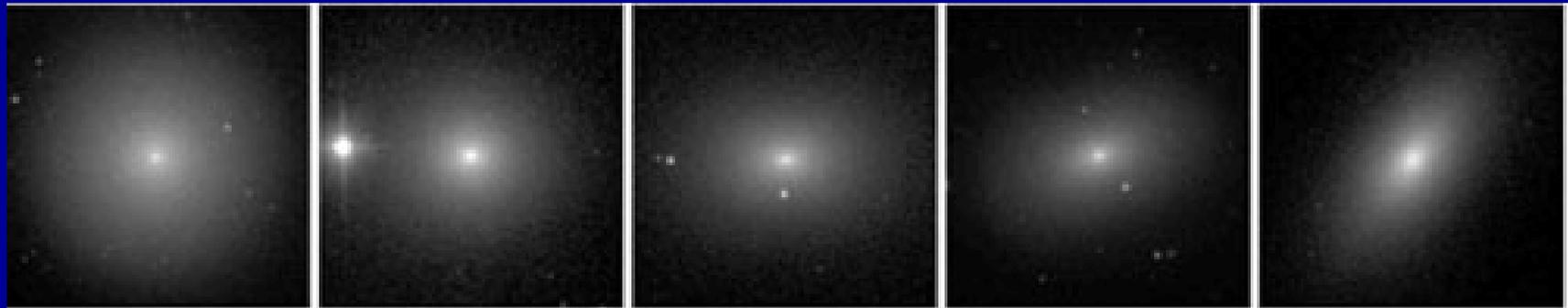
O facto de não se observarem galáxias com **F > 7** indica que, talvez, estas configurações sejam instáveis.





Esta classificação (E0, E1,..., E7) revela apenas a forma como vemos as galáxias a partir da Terra.

Uma galáxia do tipo E7 vista de frente pode não ser muito diferente de uma galáxia E0....



E0

E2

E3

E4

E5

<http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept11/Buta/Buta5.html>

Da esquerda para a direita temos as galáxias NGC 1379, 3193, 5322, 1426 e 720.



Nas galáxias elípticas praticamente não existe gás e poeiras (menos de 1% da massa total).

Não existem, portanto, estrelas em formação.

Estas galáxias são, regra geral, compostas por estrelas velhas e vermelhas da População II.

O movimento das estrelas numa galáxia elíptica é praticamente aleatório contrastando, claramente, com o caso das galáxias espirais onde as estrelas descrevem órbitas circulares em torno do centro.

As galáxias elípticas praticamente não rodam pelo que não apresentam o achatamento nos polos.





As galáxias elípticas aparecem na mais variada gama de tamanhos.

As maiores galáxias conhecidas são elípticas o mesmo acontecendo com as mais pequenas.

As galáxias elípticas gigantes podem ter até 20 vezes o diâmetro da Nossa Galáxia.

M87 é uma galáxia elíptica gigante (tipo E0) situada no Enxame da Virgem a cerca de 53 milhões de AL.



M87 © Anglo-Australian Observatory
Photo by David Malin

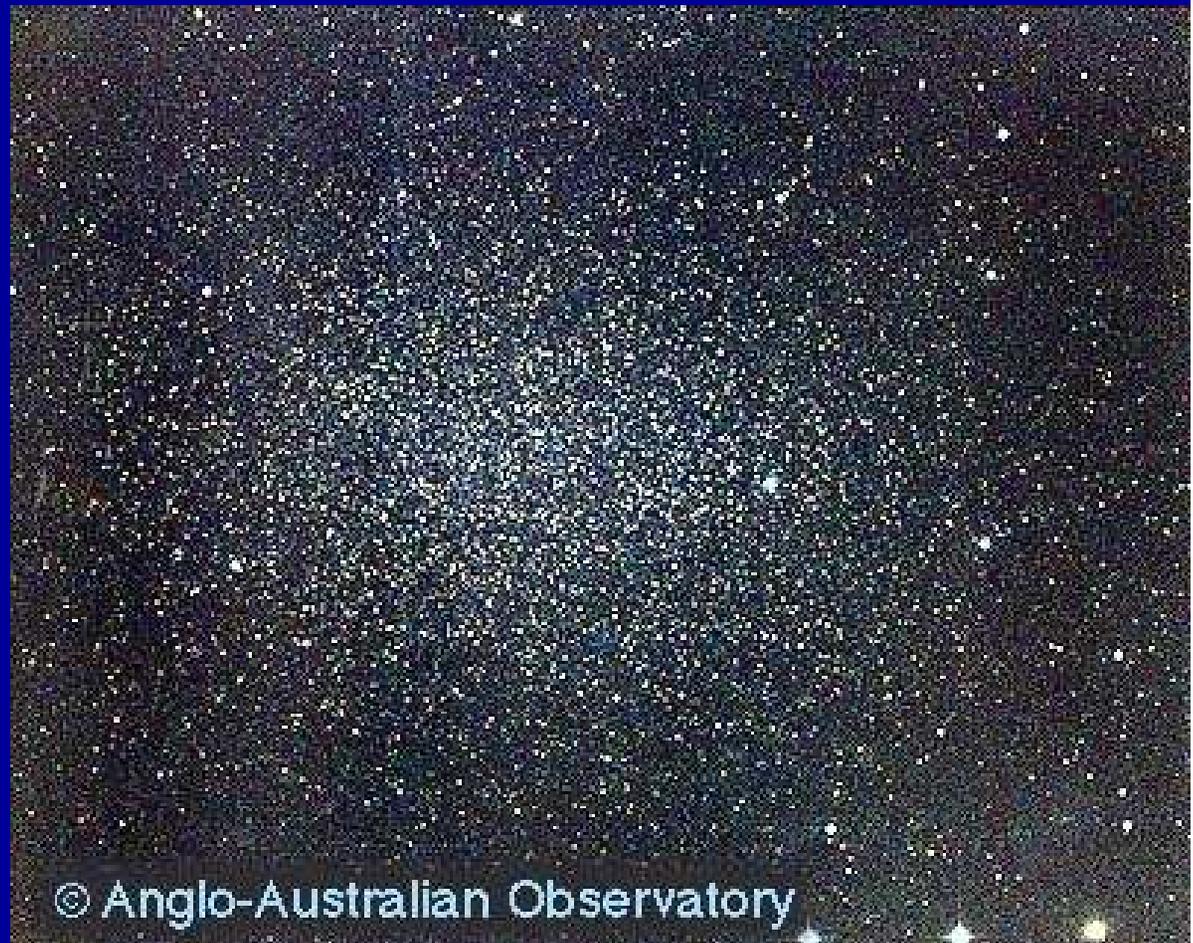


As galáxias elípticas anãs têm apenas alguns milhões de estrelas e são praticamente transparentes (deixam ver o que está do outro lado).

São o tipo de galáxias mais abundante.

Leo I é uma galáxia elíptica anã situada no Grupo Local a cerca de 900 000 AL da Nossa Galáxia.

Tem magnitude aparente 9.8.



© Anglo-Australian Observatory



Irregulares (Irr)

Têm forma irregular e são, em geral, muito ricas em gases e poeiras (15% a 25% da massa total).

A sua população estelar contempla tanto estrelas jovens como estrelas velhas.



LMC

<http://hendrix2.uoregon.edu/~imamura/123/lecture-3/lecture-3.html>



NGC 1427A

<https://www.eso.org/public/images/eso0627c/>



Subdividem-se em dois tipos:

Irr 1 – revelam pouca ou nenhuma estrutura, são ricas em regiões HII. Estão neste caso as Nuvens de Magalhães.

Irr 2 – revelam alguma estrutura distorcida devido provavelmente à colisão com outra galáxia ou ainda a atividade nuclear violenta.



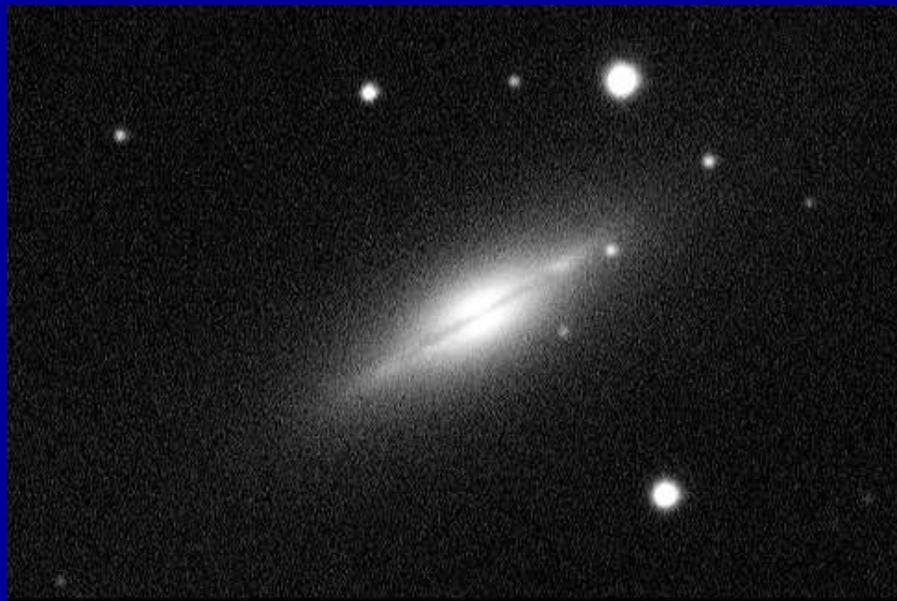


Galáxias lenticulares

Situam-se, no esquema de classificação de Hubble, entre as galáxias espirais e as elípticas.

Caraterizam-se pela existência de um núcleo central e um disco mas não têm quaisquer braços espirais.

São designadas por **S0** ou **SB0** (caso apresentem uma barra).



NGC 5866 uma galáxia S0
<http://messier.seds.org/m/ngc5866.html>



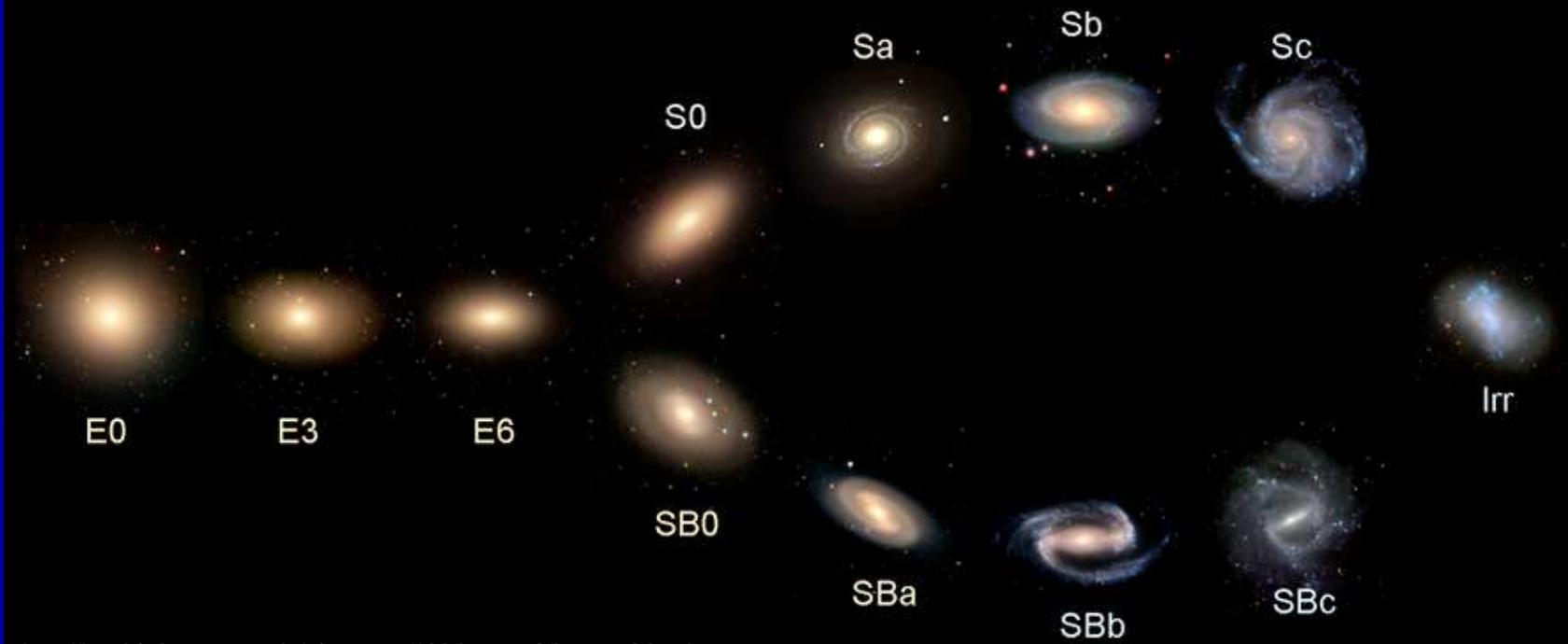
NGC 936 uma galáxia SB0
<http://cas.sdss.org/dr4/en/proj/basic/galaxies/lenticular.asp>



O esquema de classificação de Hubble não representa uma sequência evolutiva (como chegou a ser inicialmente proposto pelo próprio Hubble).

As diferentes classes refletem apenas o facto de as galáxias se terem formado em ambientes diferentes e por isso, terem adquirido formas diferentes.

Hubble's Galaxy Classification Scheme





Abundância de galáxias:

60% elípticas (em especial anãs)

< 30% espirais (60% destas são barradas)

< 15% irregulares

Aprox. 1% não podem ser classificadas segundo o esquema de Hubble.

Estas são ditas galáxias peculiares.



O **Objeto de Hoag's** é o exemplo de uma galáxia peculiar. Neste caso trata-se de uma **galáxia em anel**.

Hubble Space Telescope/NASA/ESA

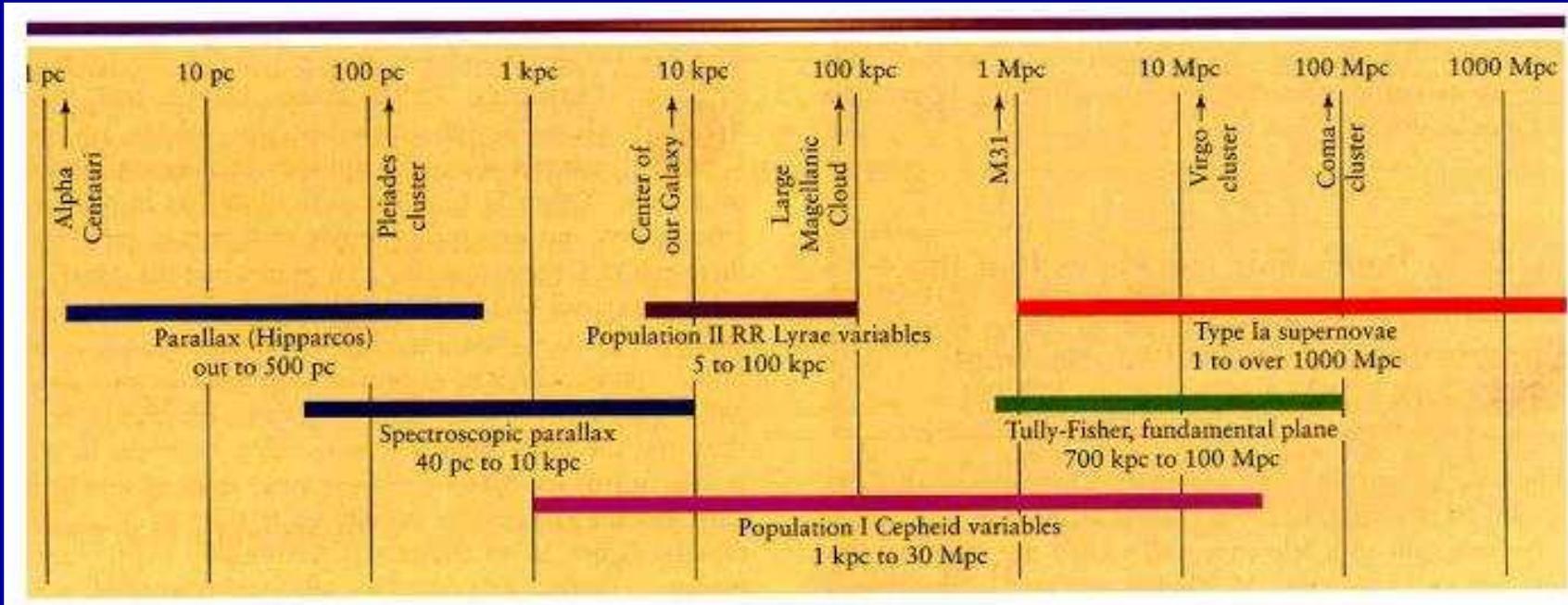


Distância a que estão as galáxias:

Para determinar a distância à qual se encontra uma determinada galáxia temos de recorrer a velas padrão: objetos luminosos (estrelas) cujo comportamento conhecemos bem aqui na Nossa Galáxia e conseguimos identificar em galáxias distantes.

Uma vela padrão deve ser:

- 1 – Visível a grandes distâncias (bastante luminosa)
- 2 – Ter luminosidade bem conhecida
- 3 – Ser facilmente identificável
- 4 – Ser relativamente abundante



Como as distâncias que conseguimos alcançar com os diferentes métodos se sobrepõem podemos utilizar cada um deles para calibrar o seguinte...



Galáxias Ativas

Cerca de 98% das galáxias observadas são ditas *galáxias normais*.

A sua luminosidade, devido às estrelas e à emissão do gás interestelar, praticamente não varia. Espectro de uma galáxia normal:

- pico na região do vermelho
- emissão de raios X (binários próximos, restos de supernovas, meio interestelar quente)
- infravermelho : estrelas frias, nuvens de poeira.
- rádio : restos de supernovas, hidrogénio atómico, moléculas (e.g. CO)



Os restantes 2% designam-se por *galáxias ativas* pois apresentam luminosidades variáveis, fora do comum e de origem não estelar.

Designam-se por **AGN** (Active Galactic Nuclei).

As duas características principais de um AGN são:

- tamanho reduzido
- alta luminosidade



O AGN mais próximo ocorre na galáxia Seyfert NGC 4395.

Como o HST não consegue resolver este AGN (situado a 4.3Mpc), deve ter menos de 1pc (3.26 AL) de diâmetro.

Outra forma de estimar o tamanho de um AGN é através da sua variabilidade.

Alguns variam apreciavelmente em brilho em intervalos (Δt) de **1** ano ou mesmo de apenas algumas horas.

É bom ter em atenção que a variabilidade pode variar consoante o comprimento de onda da observação.

A luminosidade de um AGN é normalmente expressa tendo como referência a luminosidade da Via Láctea.

Em geral os AGNs têm luminosidades superiores à Nossa Galáxia mas produzidas num volume muito mais pequeno.



Modelo Standard de AGN

Mecanismo central

Buraco negro Supermassivo com 100 milhões de massas solares em torno do qual se forma um disco de agregação de matéria.

Cerca de 10% de toda a matéria presente no disco é convertida em energia.

Existem dois jatos alinhados segundo o eixo de rotação do disco de agregação de matéria.

Muitas vezes vemos apenas um dos jatos.

O jato que aponta na nossa direção aparenta ser mais concentrado e, por isso, é bastante luminoso em comparação com o oposto que, muitas vezes, nem se consegue ver.



Toro de gás e poeira

Se o AGN fosse composto apenas pelo mecanismo central então o observador veria a emissão de raios X e UV proveniente do disco de agregação (para além dos jatos).

Para explicar a forte emissão de no IV de muitos AGN o modelo inclui um toro de gás e poeiras em torno do mecanismo central.

O toro converte a radiação de raios X e UV em IV.

A variabilidade da luminosidade do toro é muito lenta em comparação com a do mecanismo central uma vez que o toro é muito maior.

O raio interior do toro é cerca de 10 000 vezes maior do que o disco de agregação de matéria mas, mesmo assim, não o conseguimos resolver.

Nalgumas galáxias parece existir um disco de gás exterior ao toro que o alimenta. Este disco de gás já é resolúvel.



BLR - Broad Line Region

Nuvens de gás densas e movendo-se a grande velocidade (5000km/s).

Situam-se à volta do mecanismo central dentro do toro.

Têm temperatura de 10 000 K, massa total da ordem de 10 massas solares repartidas por 10 000 milhões de nuvens.

As linhas BLR só se conseguem ver se o ângulo de visão não for obstruído pelo próprio toro.

NLR (Narrow Line Region)

Nuvens de gás menos densas e movendo-se mais devagar (200-900km/s).

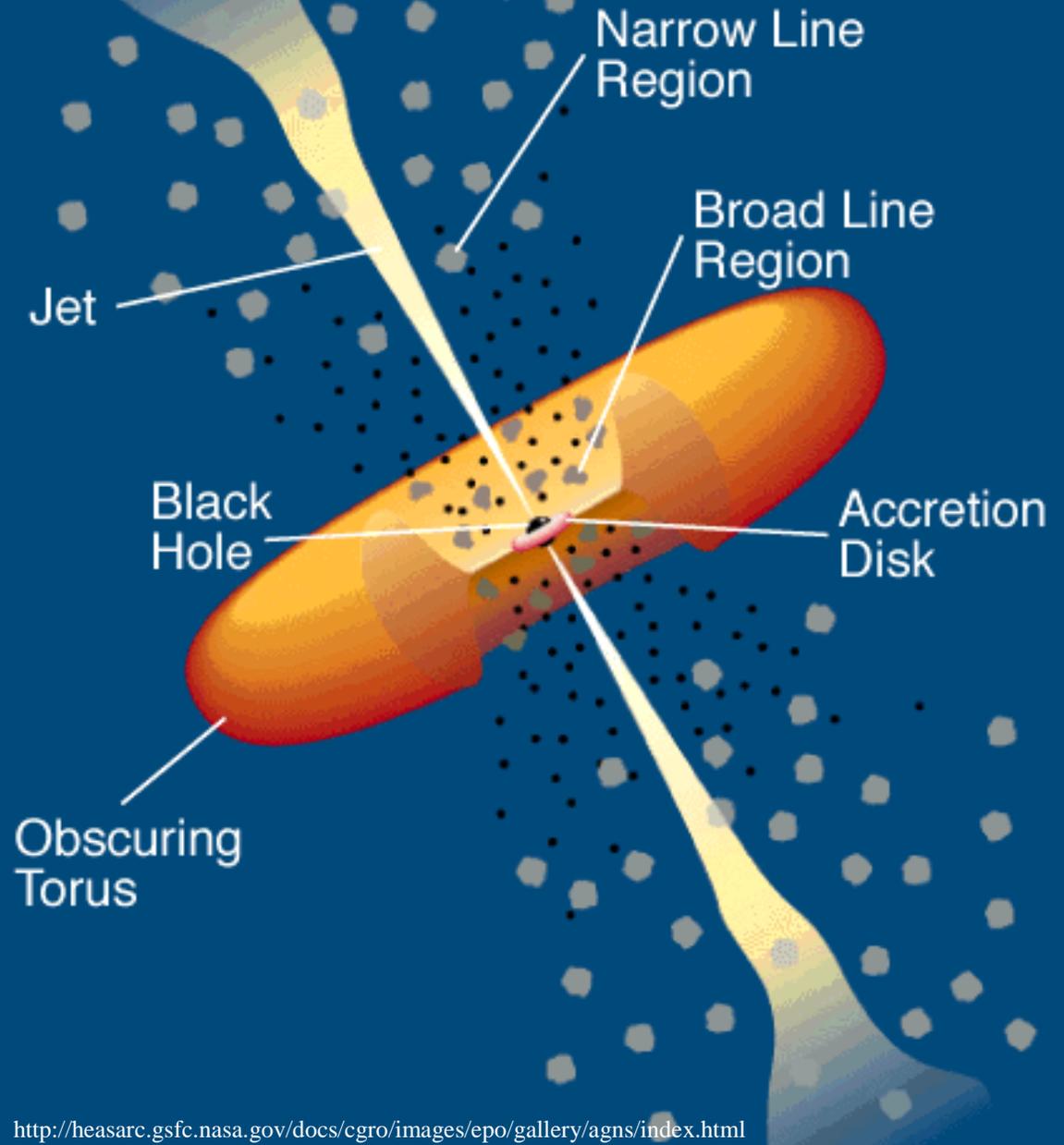
Ficam fora do toro estendendo-se até bem longe do centro.

São sempre visíveis.



AGN

Active Galactic Nuclei



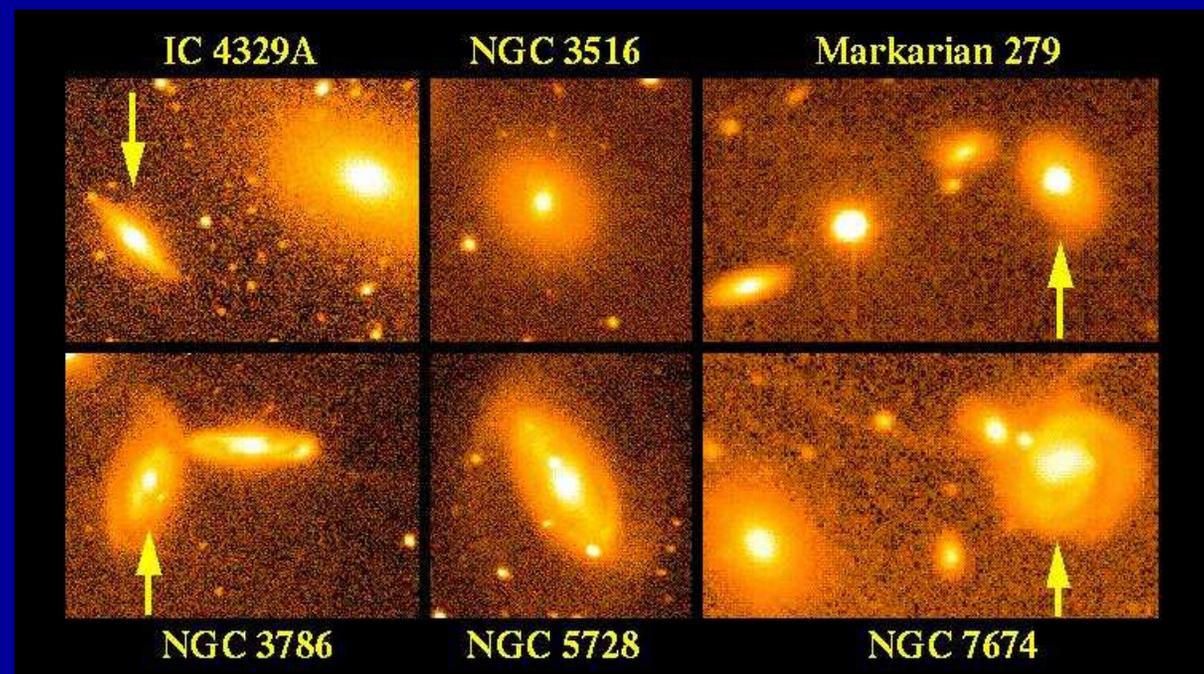


Galáxias do tipo Seyfert : apresentam um núcleo particularmente brilhante.

Comparadas com as galáxias normais apresentam um excesso de radiação nalguns comprimentos de onda como é o caso do IV distante.

Nalguns comprimentos de onda esse excesso de radiação é variável.

O facto de ser variável implica que a radiação (em excesso) tem origem numa região muito menor, em dimensão, do que a própria galáxia.





Seyfert do tipo 1 - têm dois conjuntos de linhas de emissão:

- ❑ linhas estreitas (narrow-line region) - composta especialmente por riscas proibidas
- ❑ linhas largas (broad-line region) - linhas permitidas com origem em nuvens de gás.

Seyfert do tipo 2 - apresentam apenas linhas estreitas (as linhas largas ou estão ausentes ou são muito fracas).

Os dois tipos de Seyfert devem ser vistos como situações extremas.

Entre eles encontram-se tipos intermédios (e.g. Seyfert do tipo 1.5).

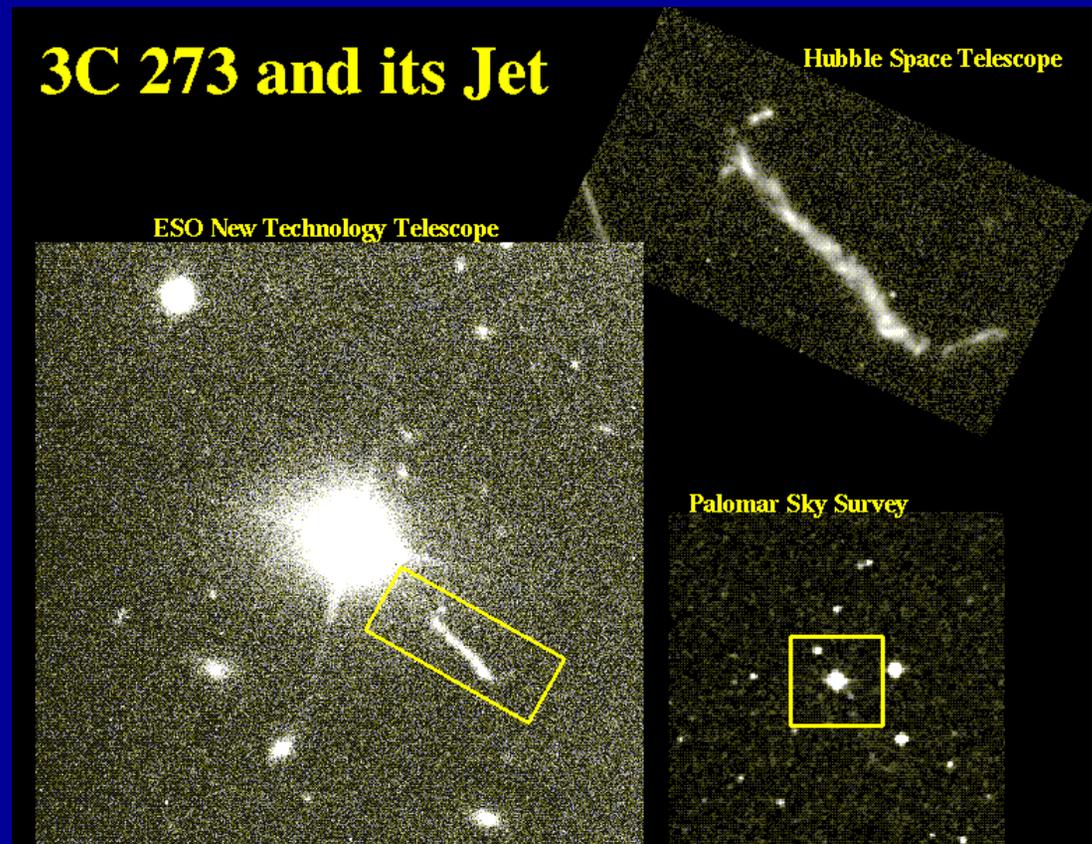


Quasares : são objetos aparentemente pontuais cujos espectros tanto no visível como no rádio apresentam um grande desvio para o vermelho.

O primeiro a ser descoberto (em 1963) foi o 3C273 com $z = 0.158$ a uma distância estimada em 660 Mpc (2000 milhões de AL).

Atualmente estão catalogados mais de 7000 quasares com valores de redshift que ultrapassam $z = 6$.

O que se observa na banda do visível corresponde de facto a emissões na banda do UV.





Cerca de 10% dos quasares são fortes emissores de rádio - *radio loud*.

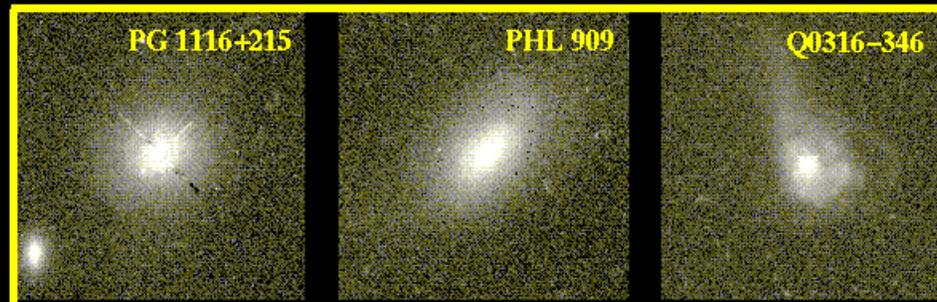
Os restantes 90% são *radio quiet*.

Muitos quasares apresentam variabilidade em escalas de meses ou mesmo dias.

Radio-loud



Radio-quiet

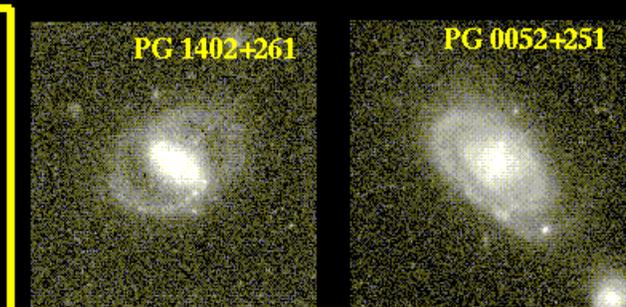


QSO Host Galaxies

HST images

10"

<http://www.astr.ua.edu/keel/agn/qsohosts.html>



Os quasares são o tipo de AGN mais luminoso de que há conhecimento. Ocorrem tanto em galáxias elípticas como em galáxias espirais.

Foram observados também em galáxias em interação.



Rádio Galáxias : apresentam lóbulos de onde sai uma forte emissão na banda do rádio.

Esses lóbulos são muito maiores do que a parte visível da galáxia.

A ligar o AGN central aos lóbulos temos jatos.

A primeira a ser descoberta foi Cygnus A nos anos 40 do século XX.

O núcleo de uma rádio galáxia é semelhante ao de outros AGNs (linhas de emissão, espectro alargado, emissão variável).

São classificados, como as Seyfert, em tipo 1 e tipo 2.

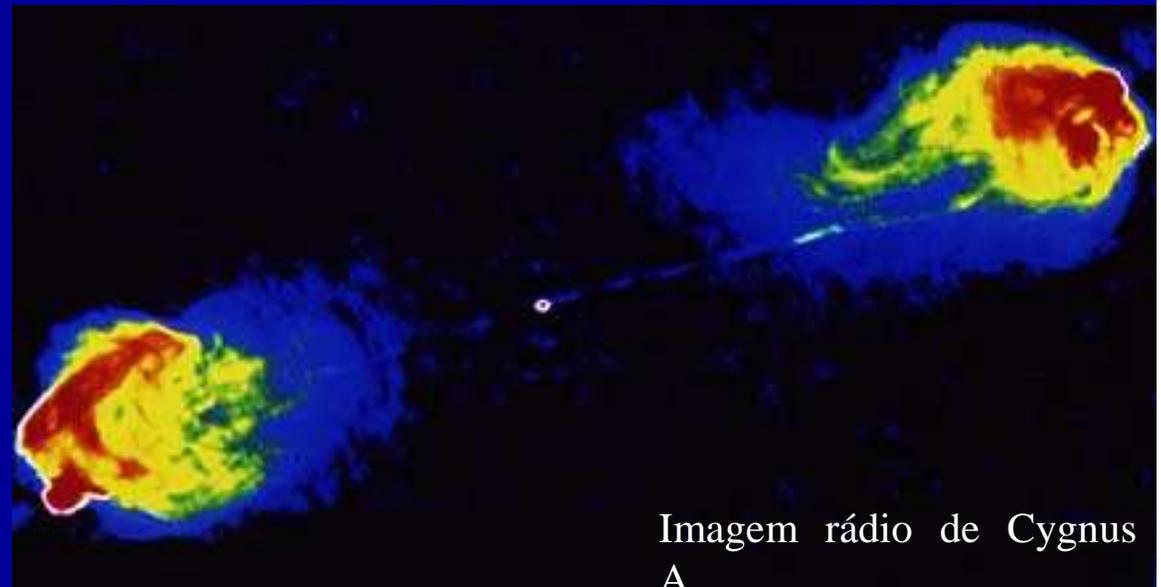


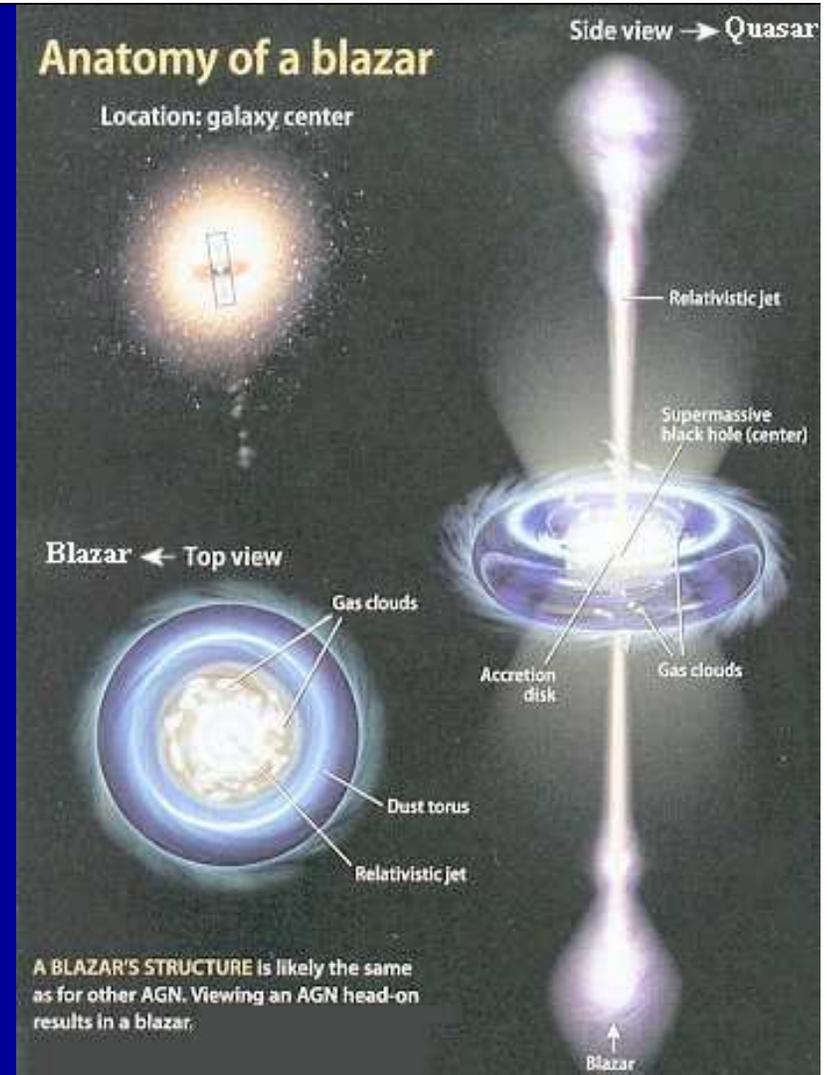
Imagem rádio de Cygnus A.

<http://hera.ph1.uni-koeln.de/~heintzma/k1/CygnusA.htm>

Blazares : são AGNs parecidos com os quasares. Variam em intervalos de dias ou menos. São todos fontes de rádio fortes e variáveis. Subdividem-se em:

BL Lac - Blazares caracterizados por não terem linhas de emissão ou por as terem muito fracas. Têm redshift pequeno o que significa que estão no Universo próximo. São conhecidos apenas cerca de 100.

OVV (Optical Violent Variables) - blazares semelhantes aos BL Lac mas com linhas de emissão largas mais fortes e redshift maior. A sua luminosidade na banda do visível pode variar até 50% num mesmo dia.



<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/B/blazar.html>

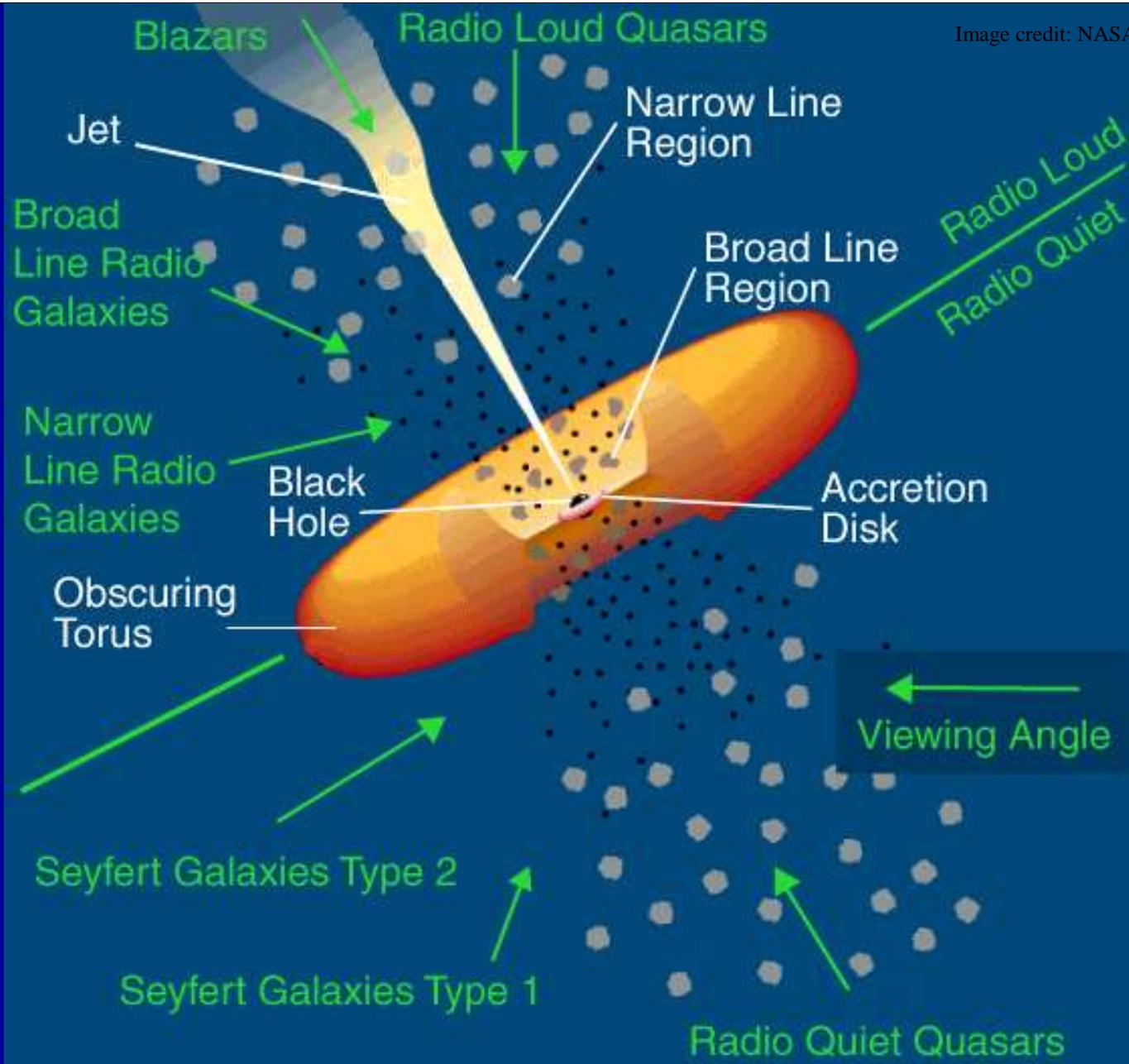


Image credit: NASA

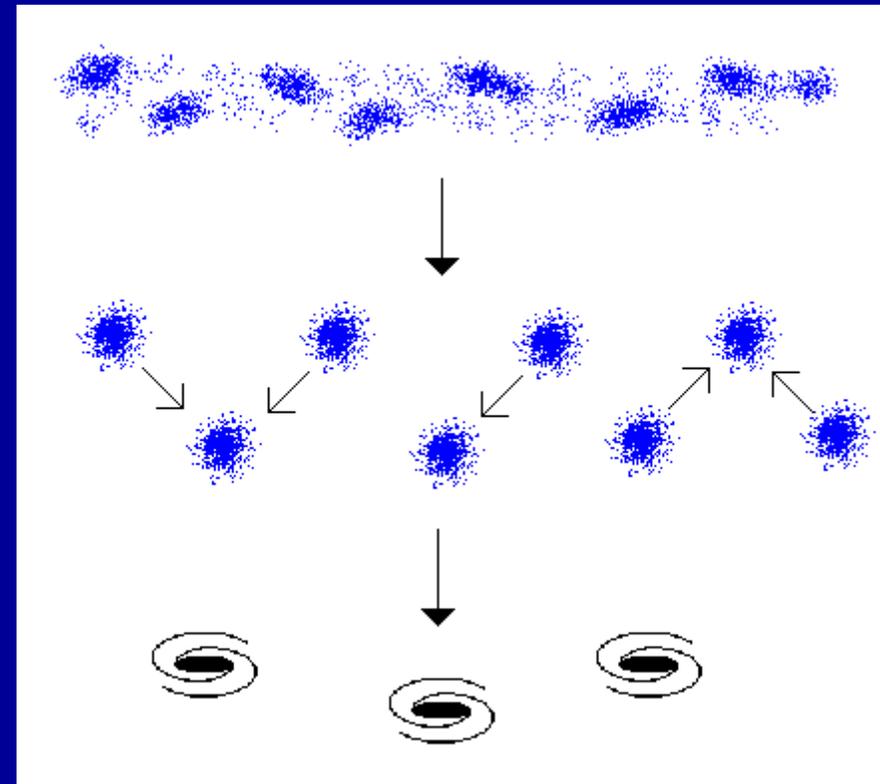


Formação de galáxias

Podemos obter algumas pistas sobre a formação e evolução das galáxias ao observar galáxias distantes.

Quando olhamos para galáxias cada vez mais distantes estamos também a recuar no tempo.

As galáxias parecem ter-se formado num sistema *bottom up*, isto é, a partir da fusão de objetos de menores dimensões.



http://www.astro.ufl.edu/~guzman/ast1002/class_notes/Ch15/Ch15b.html

A outra hipótese (refutada) era a fusão *bottom down*: fragmentação de objetos de dimensão superior à da galáxia.



Se a velocidade de formação de estrelas for baixa o gás circundante tem tempo para assentar formando um disco.

Temos, assim, a formação de uma galáxia espiral ou lenticular.

Caso contrário forma-se uma galáxia elíptica.

Numa galáxia elíptica a formação estelar ocorre de uma só vez até se esgotar todo o gás.

Estas galáxias são, por isso, pobres em metais e as suas estrelas são da população II.

Numa galáxia espiral a formação de estrelas continua no disco. Inicialmente temos apenas estrelas da população II.

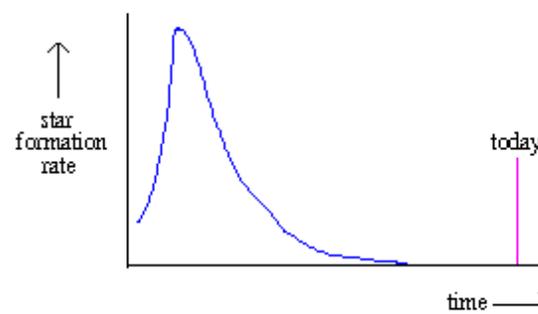
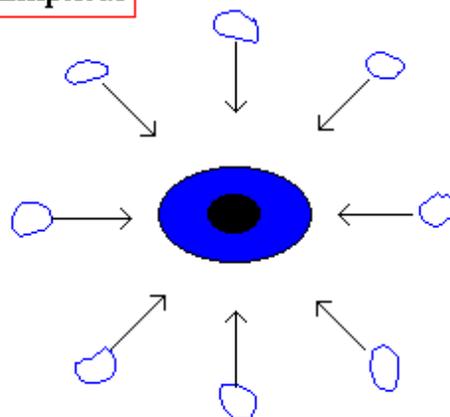
Com o passar do tempo estas acabam por enriquecer o meio interestelar com metais que vão entrar na composição de novas estrelas que serão da população I.



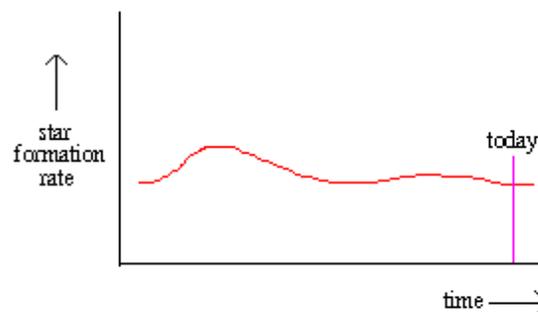
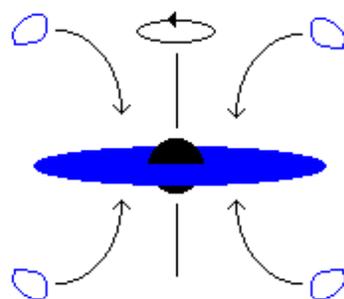
Initial Star Formation Rates

the appearance of a galaxy is determined by its initial star formation rate, which determined if all its gas was used to make stars all in one burst, or slowly over billions of years

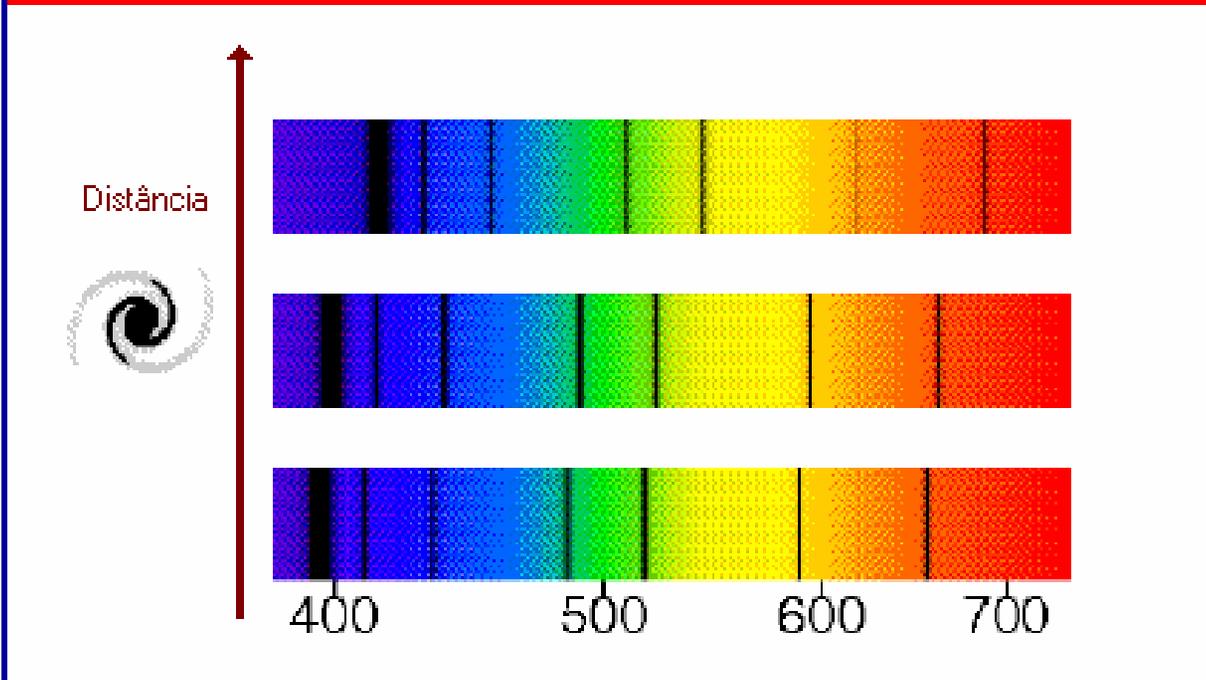
Elliptical



Spiral



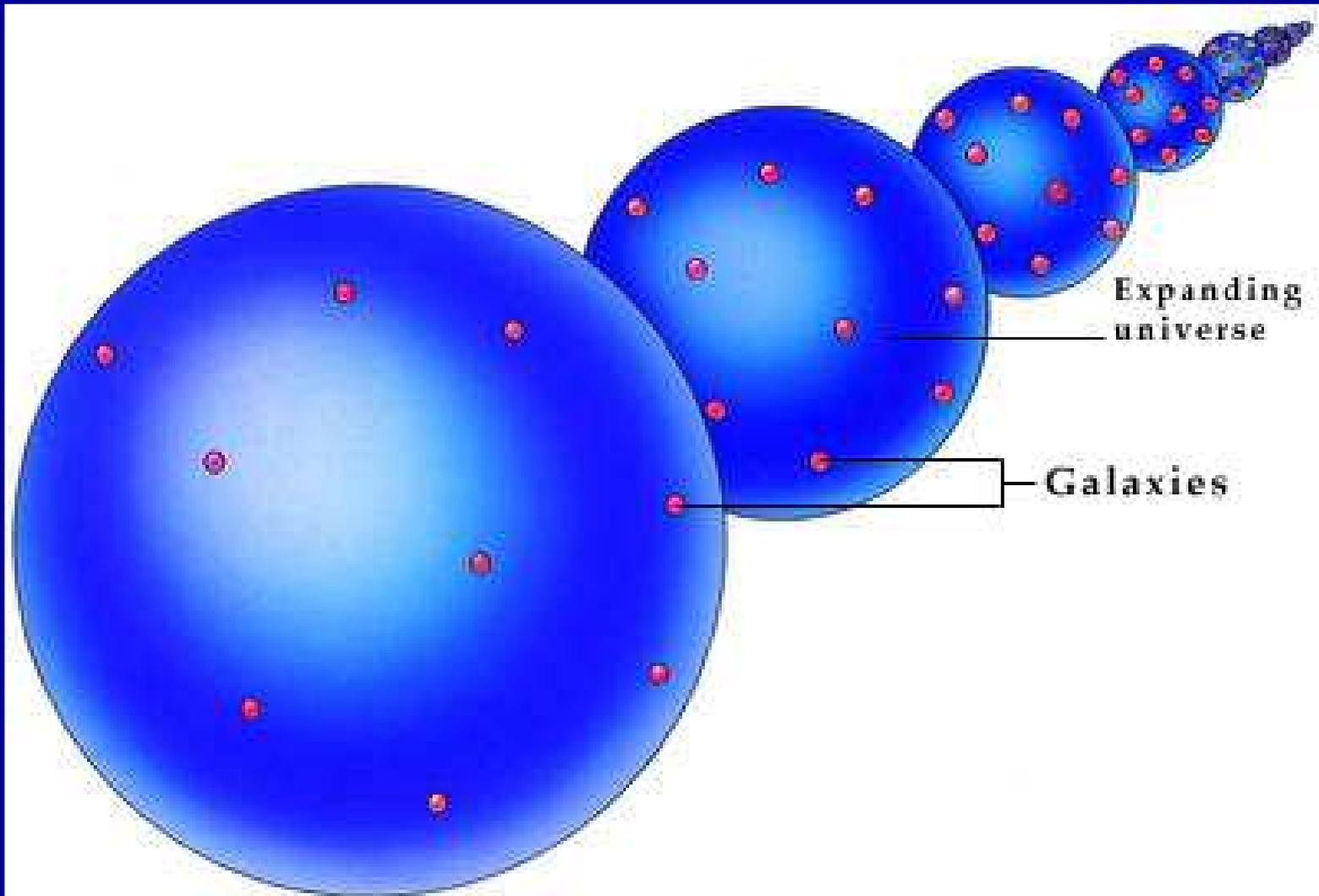
O Universo em expansão



As observações feitas no início do século XX (em particular por Hubble e Humason) mostraram que as riscas espectrais da maioria das galáxias aparece desviada para o vermelho sendo esse desvio tanto maior quanto maior a distância.



Como o desvio para o vermelho está relacionado com a velocidade com que as galáxias se afastam de nós concluímos somos levados a concluir que o Universo está em expansão!





Em 1929 Hubble publicou a sua descoberta atualmente conhecida por **Lei de Hubble**. Esta pode ser expressa por:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_i} = \frac{\lambda - \lambda_i}{\lambda_i} = \frac{H_0}{c} d$$

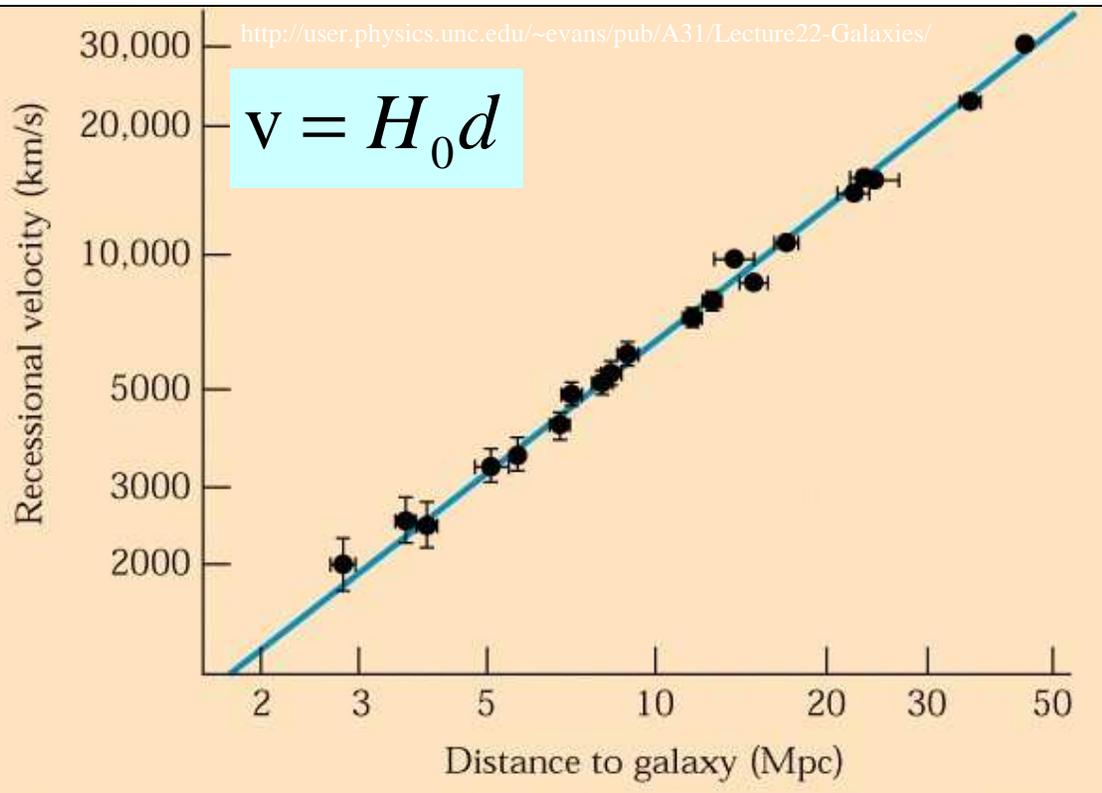
onde H_0 é a constante de Hubble, c é a velocidade da luz, d é a distância, λ é o comprimento de onda medido para a galáxia, λ_i o comprimento de onda medido no laboratório e z é o **redshift** (se $z < 0$ temos antes um **blueshift**)

A lei de Hubble é apenas aplicável até o **$z = 0.2$** .

Para valores superiores a relação redshift-distância é mais complexa e para valores muito pequenos o movimento próprio das galáxias domina sobre o redshift.

Para z entre 0.01 e 0.2 podemos interpretar cz como sendo a velocidade de recessão da galáxia escrevendo:

$$v = H_0 d$$



A partir do declive da reta tiramos o valor da Constante de Hubble.

$$H_0 = 73.4 \text{ kms}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \approx 2.38 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

A constante de Hubble traduz, no presente, a relação entre a velocidade de recessão de uma galáxia e a sua distância ao observador.

O inverso deste valor dá-nos a idade do Universo: $t_0 \approx 4.3 \times 10^{17} \text{ s}$.

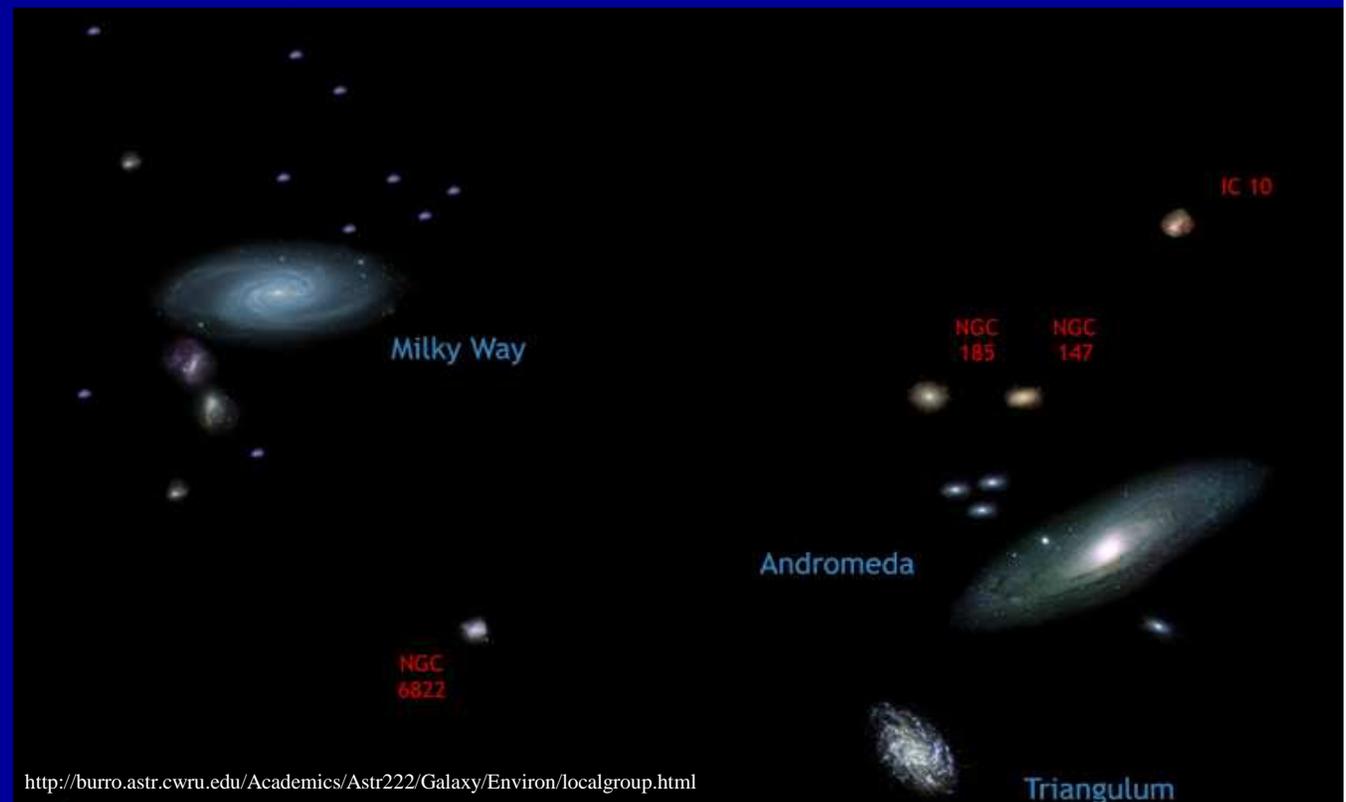


Enxames de galáxias

As galáxias agrupam-se em enxames.

Os enxames menos numerosos designam-se por Grupos.

É o caso do **Grupo Local** do qual fazem parte a Nossa Galáxia, M31 (Andrómeda) e M33 (Triângulo) entre outras (num total de cerca de 50 galáxias).

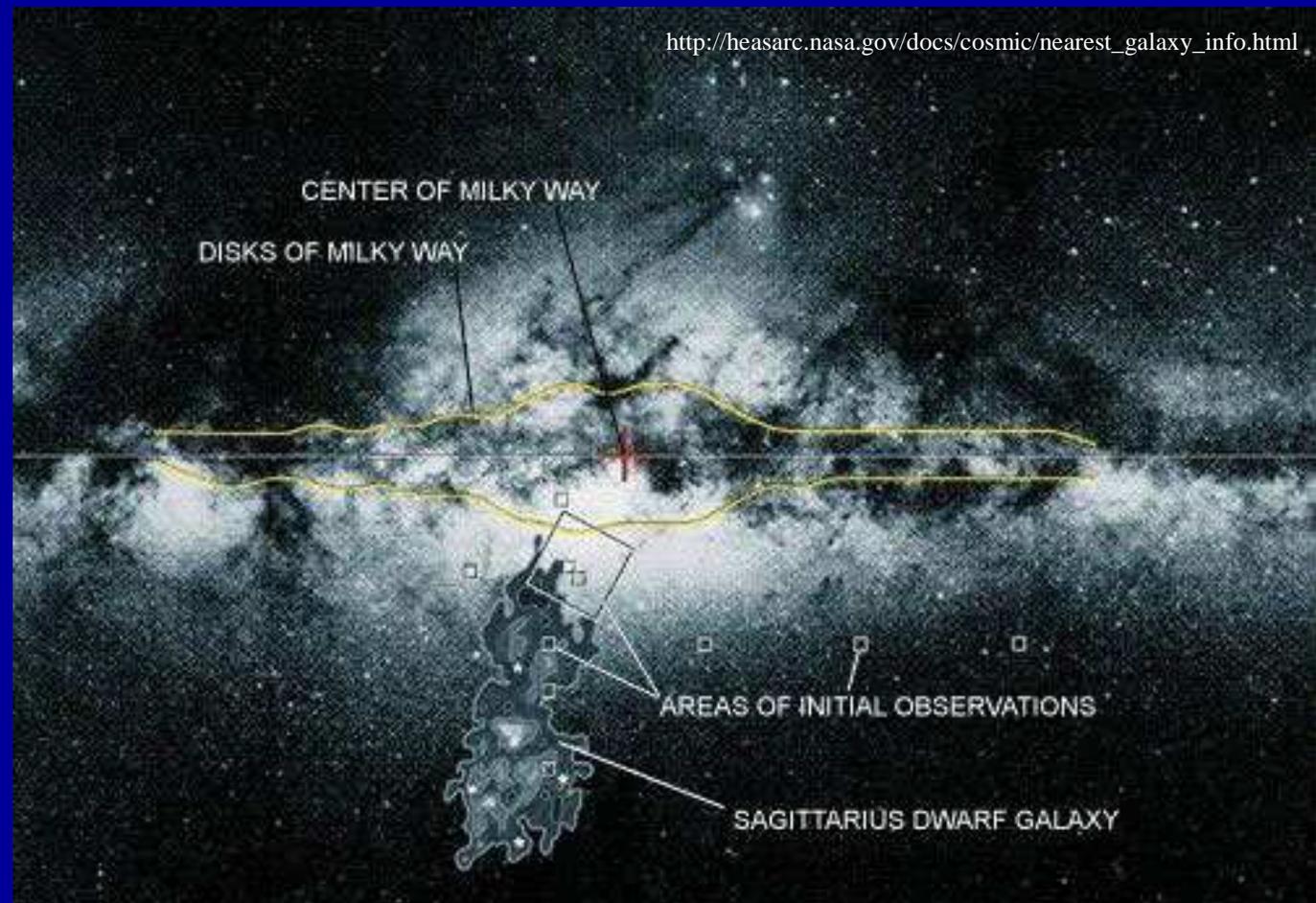




As galáxias mais próximas de nós são a *Anã do Cão Maior* a apenas 25000 AL da Terra (mais próxima do que o centro da Nossa Galáxia) e a *Anã do Sagitário* a cerca de 70 000 AL.

Ambas estão em colisão com a Nossa Galáxia.

http://heasarc.nasa.gov/docs/cosmic/nearest_galaxy_info.html





A Grande (LMC) e a Pequena Nuvem (SMC) de Magalhães:

Satélites da Nossa Galáxia.

LMC

Dist: 180 000 AL

SMC

Dist: 210 000 AL



A **galáxia de Andrómeda** (M31)
a cerca de 2.5 milhões de anos
luz é o objeto mais distante que
conseguimos ver a olho nu!





O enxame rico em galáxias mais próximo é o Enxame da Virgem.

O centro do enxame é dominado por três galáxias elípticas gigantes.

Distância: 15Mpc (50 milhões de AL)

Diâmetro : 3Mpc (10 milhões de AL)

Número de galáxias: >2000





Colisão de galáxias

Ocasionalmente podem ocorrer colisões entre as galáxias de um enxame.

A Nossa Galáxia, por exemplo, está em rota de colisão com M31 (a colisão terá lugar daqui a 6000 milhões de anos).

Nalguns casos podemos observar colisões em curso.

Noutros casos podemos observar o resultado de colisões passadas.



M51 - Whirlpool Galaxy.

NASA/Hubble



Em geral uma colisão entre duas galáxias pode levar ao escape de estrelas para o espaço.

A colisão pode também originar regiões de formação de estrelas.

É muito pouco provável que ocorra a colisão de duas estrelas entre si dada a enorme separação entre as estrelas numa galáxia.





Em resultado da colisão pode também ocorrer deformação das galáxias ou mesmo a fusão das duas galáxias numa galáxia maior.

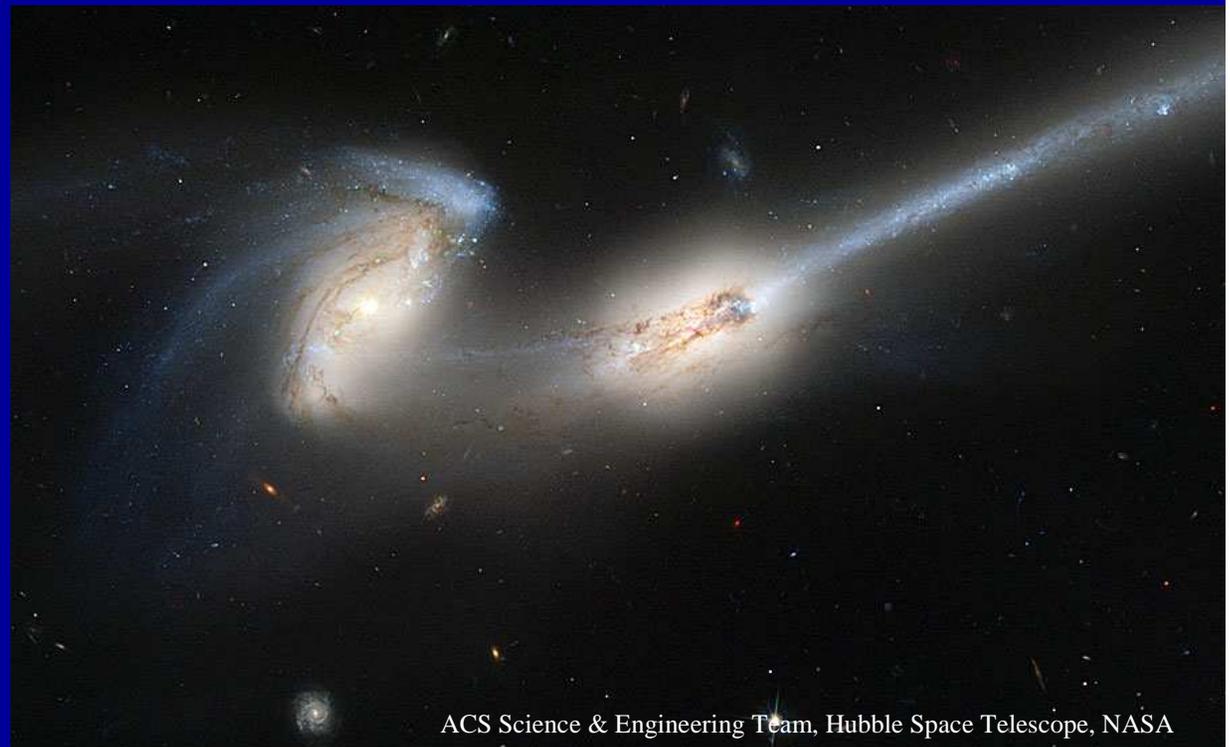
O termo *canibalismo galáctico* é utilizado quando uma das galáxias é muito maior do que a outra.

É provável que as gigantes elípticas existentes no centro de alguns enxames tenham adquirido a sua dimensão à custo do canibalismo galáctico.

Outro efeito que pode decorrer da colisão é a formação de braços espirais.

NGC 4676:

duas galáxias em interação





Nos enxames vizinhos do nosso apenas 5% das galáxias são espirais.

Em enxames mais distantes o número sobe para 30%.

Concluimos assim que devem ter ocorrido nos últimos 4000 milhões de anos colisões e fusões de galáxias resultando no aumento do número de galáxias elípticas.

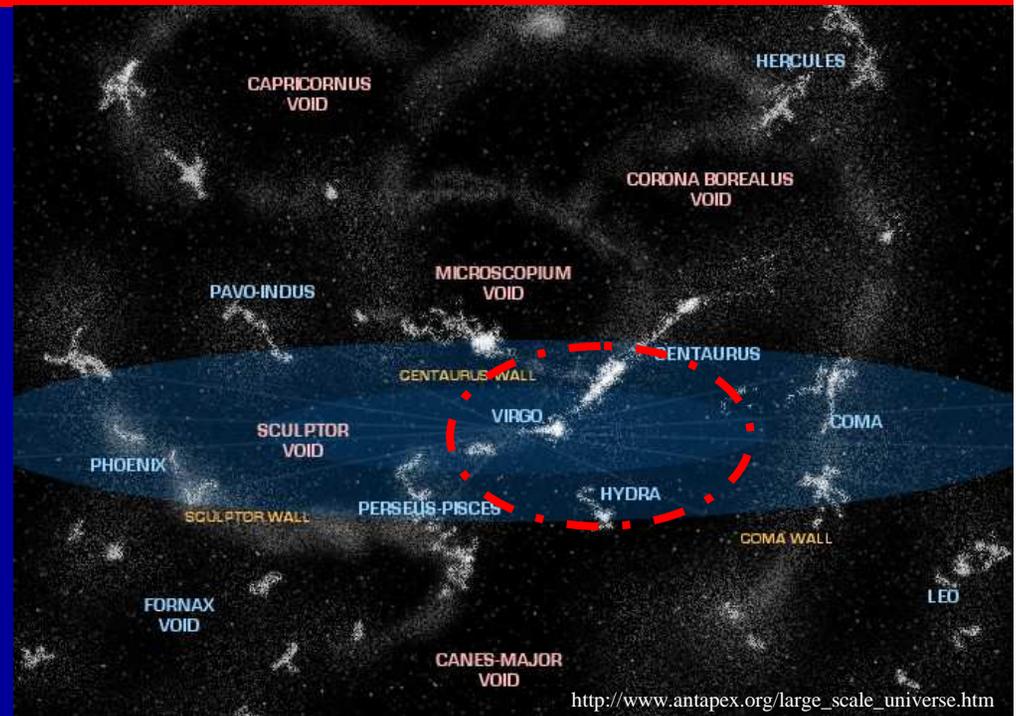
Simulação da evolução da colisão/fusão de galáxias



Superenxames de galáxias

Os enxames de galáxias agrupam-se formando superenxames.

Estes são compostos, em geral, por dezenas de enxames e podem ter diâmetros da ordem dos 150 milhões de AL.



O designado *Superenxame Local* é composto pelo Grupo Local e pelo Enxame da Virgem.

O maior superenxame no Universo próximo é designado por *Grande Atractor*.

A sua gravidade é tal que arrasta todo o Superenxame Local em direção a ele.



Todas as galáxias têm o seu movimento próprio dentro do enxame a que pertencem.

Para galáxias distantes a expansão do Universo sobrepõe-se a este movimento próprio.

Para galáxias do Grupo Local esta recessão é menos significativa pelo que nalguns casos o movimento próprio da galáxia é dominante.

A galáxia de Andrómeda, por exemplo, está a aproximar-se da Nossa Galáxia e, por isso, apresenta um blueshift.

A observação mostra que os enxames dentro de um mesmo superenxame não estão ligados entre si pela gravidade.

Em geral afastam-se uns dos outros acompanhando a expansão do Universo.



A escalas muito superiores a 100 Mpc (300 milhões de AL) o Universo tem um aspeto uniforme.



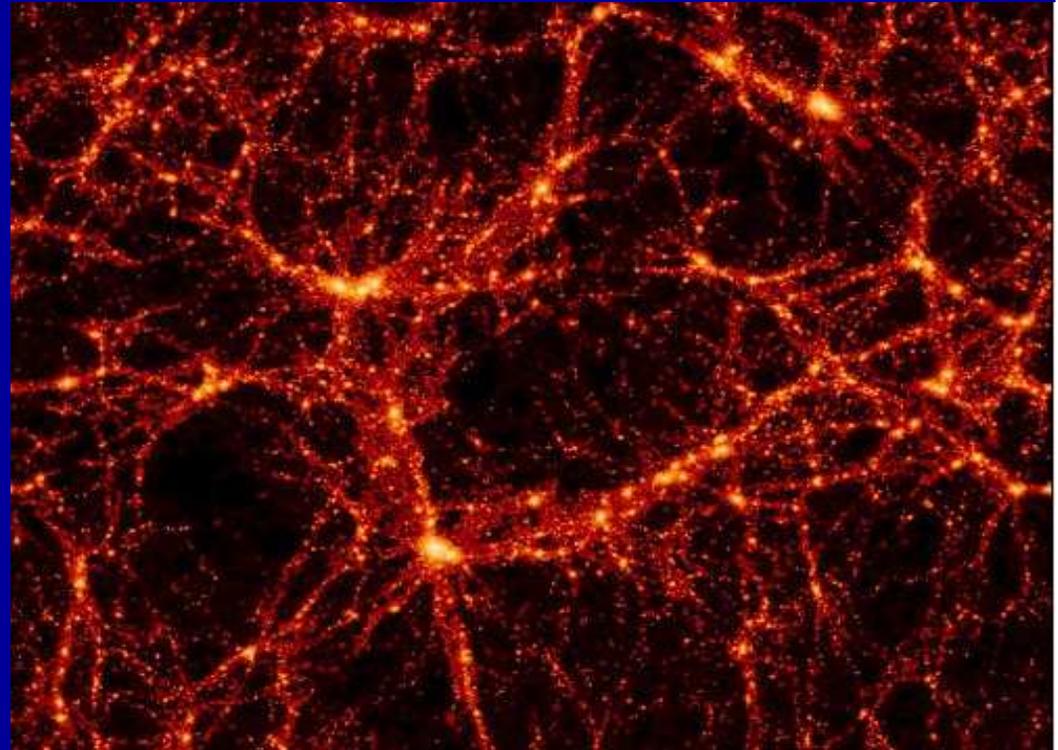
A observação mostra que os superenxames não estão distribuídos de forma aleatória mas sim alinhados em *filamentos*.

Entre os filamentos existem regiões chamadas *voids* onde praticamente não se encontra nenhuma galáxia.

Os voids são aproximadamente esféricos e medem entre 30 e 120 Mpc (100 a 400 milhões de AL) de diâmetro.

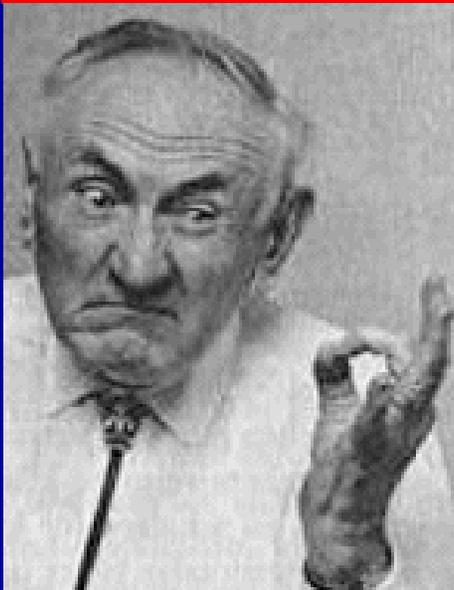
Alguns parecem conter vastas regiões de hidrogénio e outros parecem ser rasgados por tiras de galáxias pouco luminosas.

Os filamentos são as maiores estruturas observadas no Universo.





Matéria Escura



Ao observar em 1933 o enxame de galáxias de Coma o astrofísico suíço **Fritz Zwicky** verificou, baseando-se no movimento das galáxias próximas dos extremos do enxame, que este possuía cerca de **400 vezes mais massa** para além daquela estimada a partir do brilho das suas galáxias.

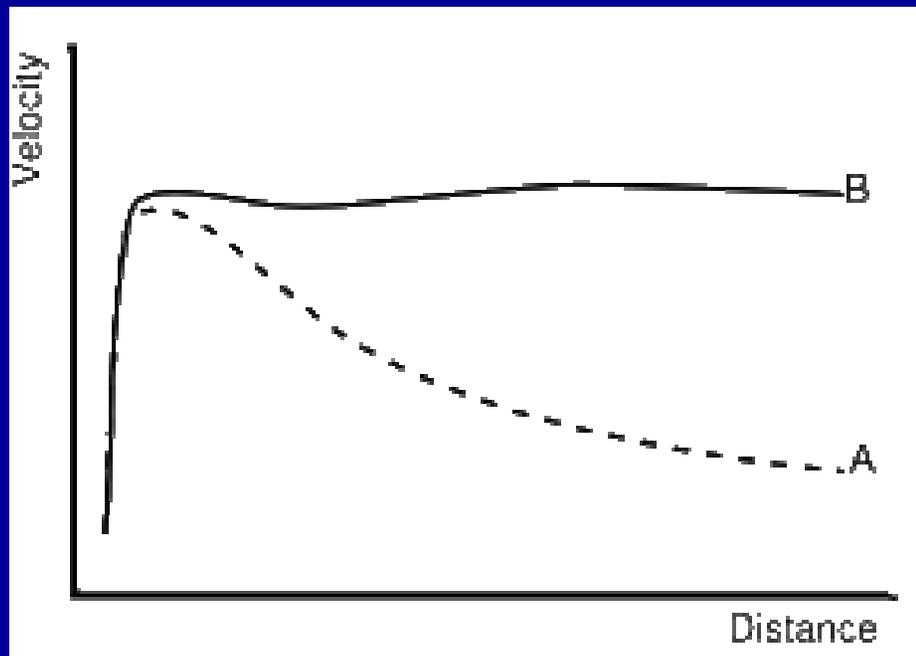
Enxame de galáxias de Coma

O. Lopez-Cruz and I. K. Shethon (<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap971213.html>)



Esta questão ficou conhecida como o "**problema da massa em falta**".

Essa massa em falta veio a designar-se por **matéria escura**.



Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1

ESO PR Photo 37d/98 (23 September 1998)

©European Southern Observatory



Em 1975 a astrónoma **Vera Rubin** descobriu que a maior parte das estrelas numa galáxia espiral orbitam em torno do núcleo galáctico praticamente à mesma velocidade independentemente da sua distância ao centro.

Este resultado sugere que, ou a Teoria Newtoniana da gravidade não é Universal, ou mais de metade da massa das galáxias está contida num halo escuro sob a forma de **matéria escura**.



NASA/Chandra X-ray Observatory

A quantidade de matéria escura numa galáxia pode ser inferida a partir da relação massa-luz para essa galáxia.

Esta relação é dada por

$$\Psi = \frac{M_{\text{total}}}{M_{\text{luminosa}}}$$

Quanto maior este valor maior a percentagem de matéria escura nessa galáxia. Tipicamente a matéria escura corresponde a 90% do total!



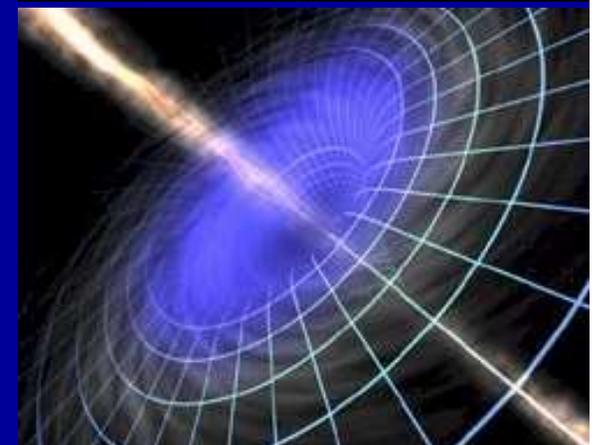
Candidatos a matéria escura

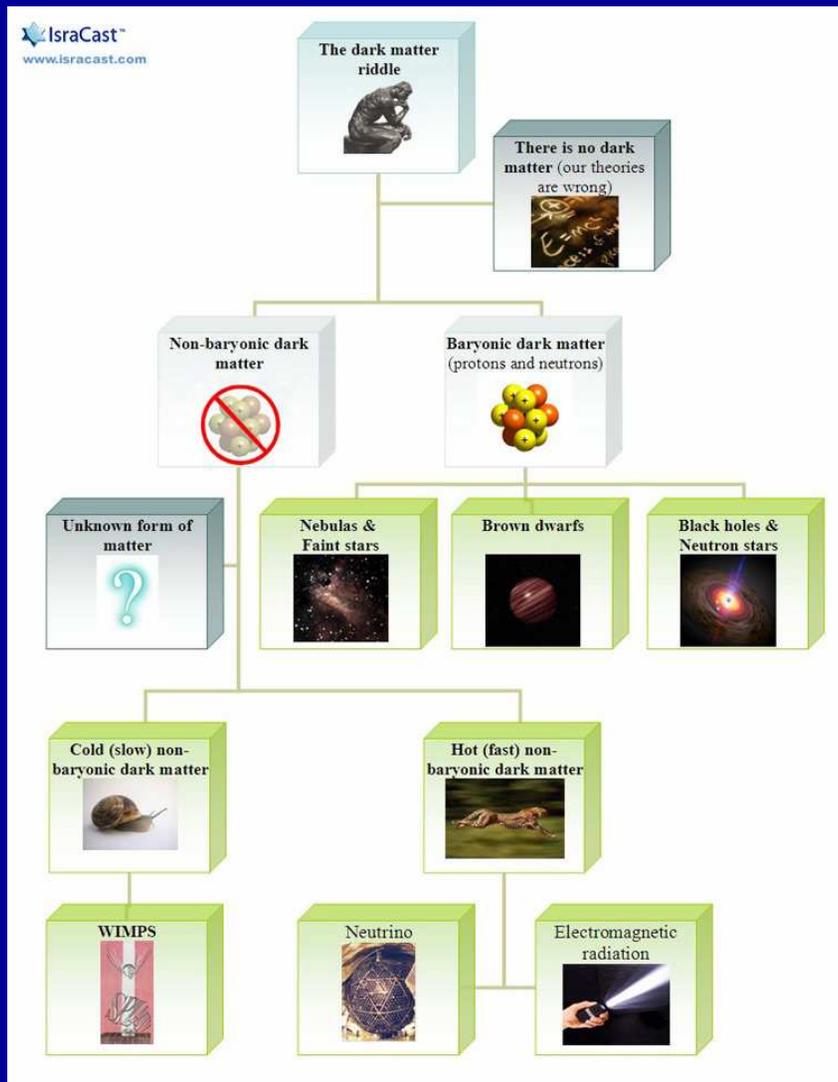
No caso da Nossa Galáxia estima-se que parte da matéria escura presente no halo seja formada por corpos com massa inferior a uma massa solar, pouco luminosos designados por **MACHOS** (MAssive Compact Halo ObjectS).

Os MACHOS podem consistir em *anãs brancas, anãs castanhas, buracos negros, ou planetas* (matéria bariónica).

Utilizando o efeito de lente gravitacional foram detetados alguns destes objetos no halo da Nossa Galáxia.

O estudo permitiu concluir que prevalecem os corpos com 0.5 massas solares.





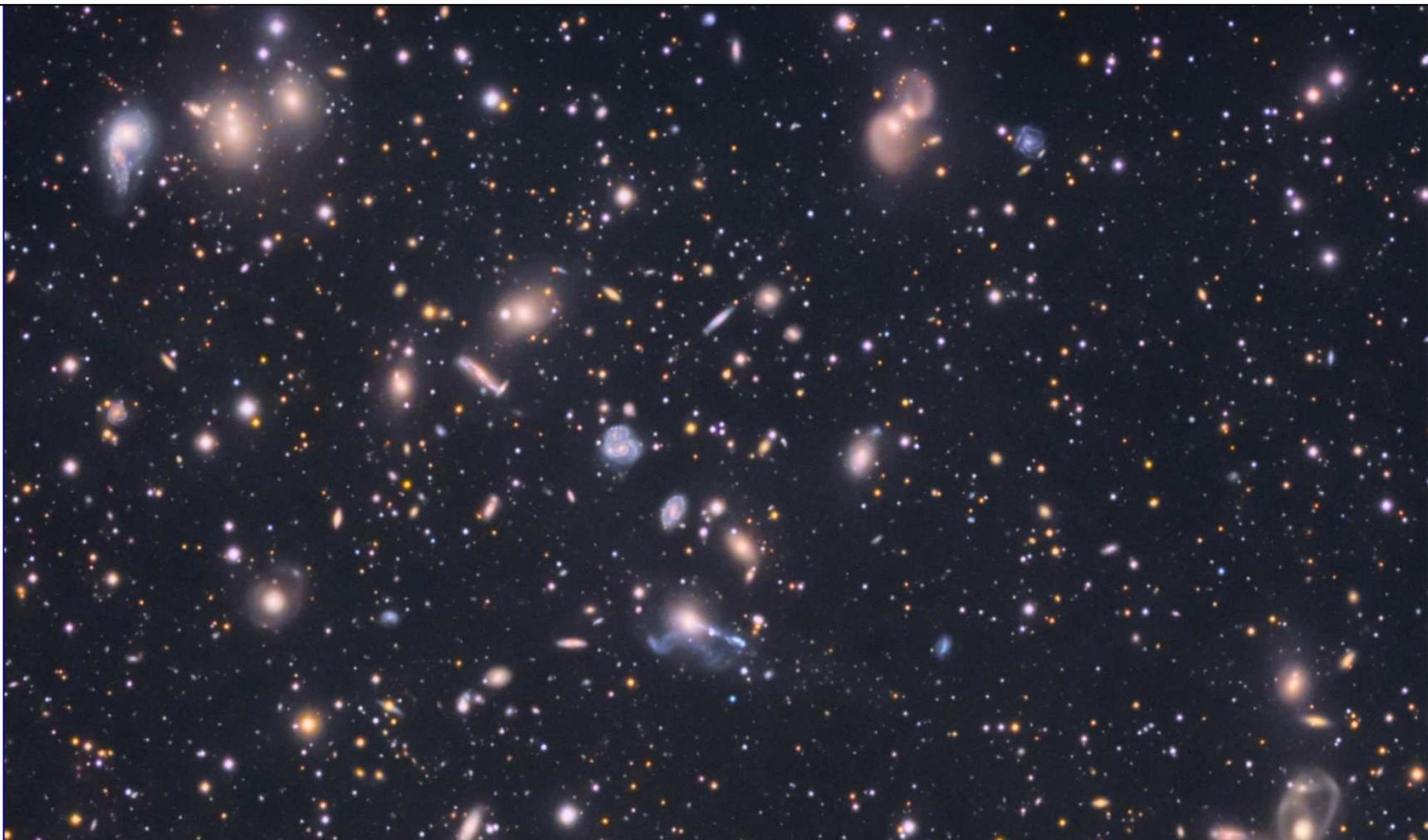
No entanto os estudos revelam que apenas uma pequena fração da matéria escura é de origem bariónica.

Assim, **a composição da maior parte da matéria escura é ainda uma incógnita para nós.**

Alguns dos candidatos em estudo são os **axiões** e as **WIMPs** (Weakly Interacting Massive ParticleS).

Estas partículas, previstas matematicamente, não interagem com a radiação eletromagnética.

Devem ter massas entre 10 a 10 000 vezes a massa do protão.



<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/index.htm>
astro@uma.pt