

Cenários de Formação de Galáxias

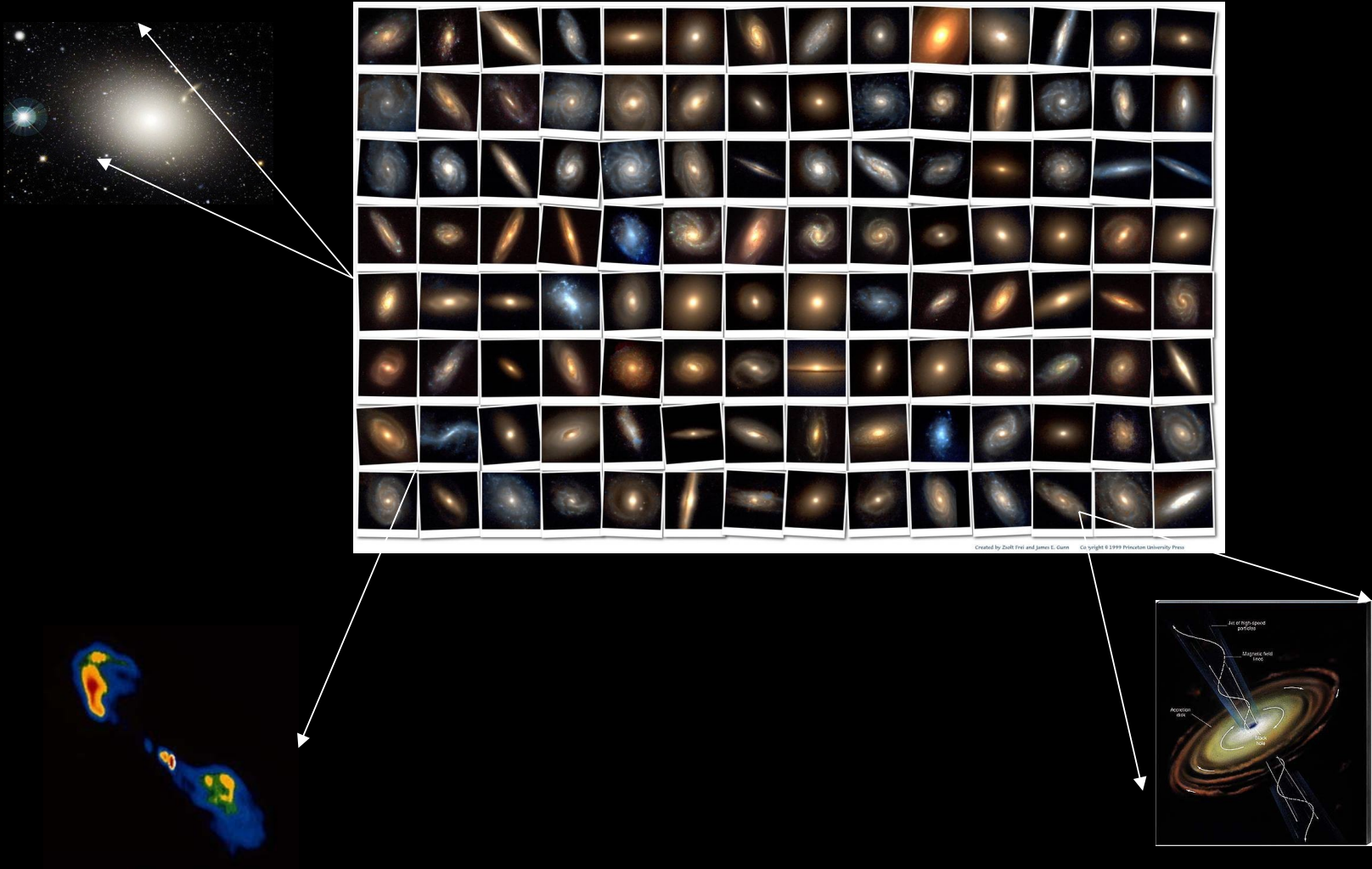
Meio Ambiente: Grupos e Aglomerados de Galáxias

Cenários de Formação e Evolução de Galáxias:

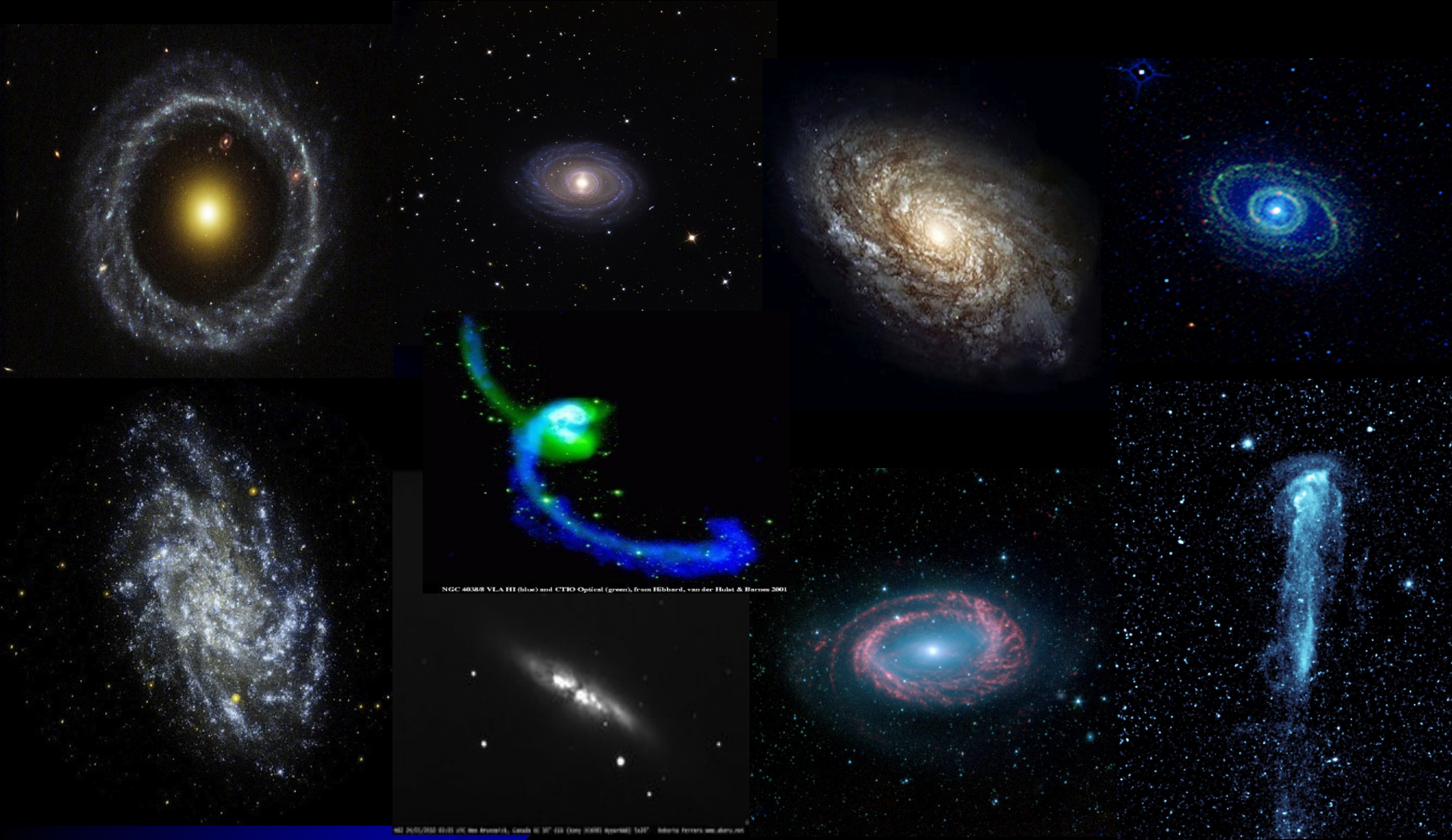
- Monolítico
- Hierárquico
- Evolução Secular

Grupo Local, Grupos e Aglomerados de Galáxias

Existe uma enorme diversidade de morfologias em galáxias, bem como conteúdo estelar e regimes de comportamento cinemático diferentes....

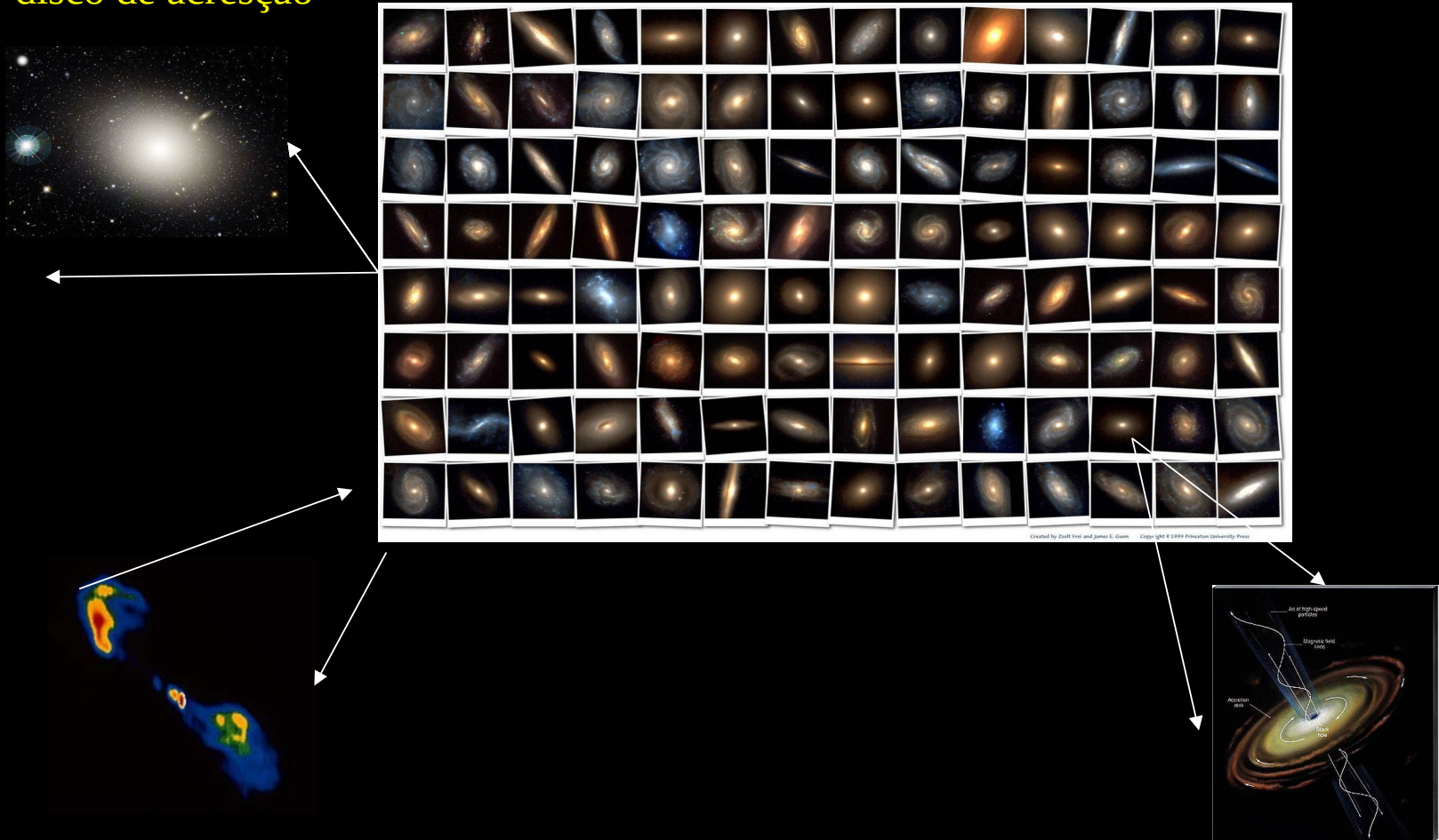


Diversidade de Morfologias



Vimos que em galáxias comuns a energia é gerada por processos térmicos que incluem a luz das estrelas, emissão radiotérmica do gás quente e emissão no infra-vermelho (IR) devido a poeira aquecida no Meio Interestelar-MIS.

Em galáxias ativas os processos que geram energia, além dos térmicos, são também não-térmicos...como a radiação Syncroton e a luminosidade gerada pela queda do material no disco de acreção



Vamos agora analisar os possíveis **Cenários de Formação e Evolução de Galáxias** que poderiam explicar a estrutura de toda a diversidade de morfologias observadas, bem como o comportamento cinemático e a população estelar associada.

Como explicar a formação de galáxias considerando tamanha diversidade morfológica ?

O Papel da Análise e Classificação Morfológica

...um passo em direção ao entendimento da natureza e evolução das galáxias

Um bom esquema de classificação deve motivar argumentos físicos sobre a natureza dos objetos.

Mas neste caso os argumentos físicos não devem ser usados para redefinir a classificação.

Caso contrário todo o argumento se torna circular.

Allan Sandage, 2005, ARAA, 43, 581

Morfologia distingue galáxias que são fisicamente diferentes (Kormendy 1982, p. 125) e revela processos evolutivos distintos

Papel de um morfologista ?

- 1- Reconhecer o “arquétipo” aos quais uma galáxia pertence
- 2- Organizar os arquétipos de forma simples que possam ser eventualmente interpretados em termos de evolutivos

Classificação

Seleciona a diversidade de morfologias observadas e permite categorizá-las.

Correlaciona a **forma** com possíveis processos físicos de formação e/ou evolução de galáxias.

Portanto, a classificação é útil para a construção de **Cenários de Formação de Galáxias**.

Até o momento, 3 possíveis cenários (que podem ser dependentes...!) foram propostos na literatura e que parecem consistentes com as morfologias observadas, apesar de algumas limitações:

Cenário Monolítico – CM

Cenário Hierárquico - CH

Cenário de Evolução Secular – CES

Fusões de Galáxias – Galáxias Peculiares

Estudos realizados por Eggen, Lynden-Bell & Sandage (1962)...

Estudo clássico sobre a cinemática de 221 estrelas anãs que cruzam a vizinhança solar indicou a existencia de diferentes **correlações entre as anãs**.

1- Entre a órbita destas estrelas e a metalicidade.

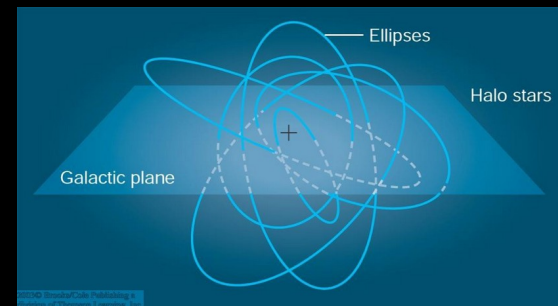
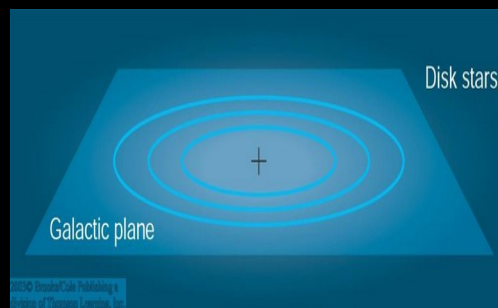
Aquelas que possuem baixa metalicidade realizam **órbitas excentricas ***, radiais. As que possuem órbitas quase circulares possuem alta metalicidade.

2- Entre a metalicidade estelar e o momento angular.

Aquelas anãs que possuem baixa metalicidade também possuem pouco momento angular.

3- Entre a metalicidade e a distribuição espacial.

As anãs com alta metalicidade se concentram no disco, enquanto que as de baixa metalicidade se distribuem no disco e também em diferentes alturas do plano galáctico.



*

1-Cenário Monolítico

...formação de galáxias seria rápida e ocorreria em 2 fases:

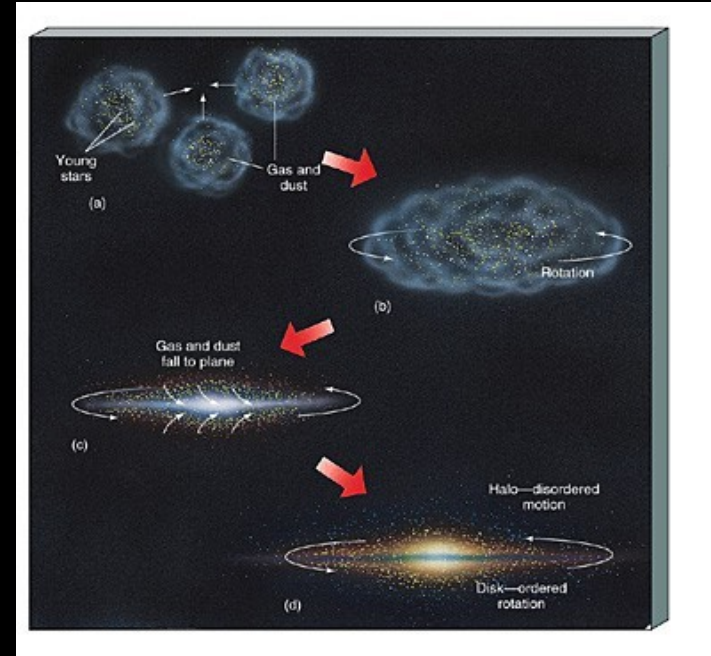
1) Colapso radial do gás primordial formaria:
($T \approx 100$ milhões de anos)

bojo e halo

população II, velha

fase rápida

2) Momento angular



Queda radial do gás continua, até que, devido ao aumento do momento angular na região central, é interrompido. Na direção paralela ao momento angular o colapso continua, originando o disco...

Ocorre então a **formação do disco** e de estrelas de população I, ou seja, **população de estrelas jovens**

Consequências do colapso...

Componentes principais reuniriam **propriedades** químicas, cinemáticas e estruturais **distintas**:

- Componentes esferoidais (Bojo e Halo):

Estrelas teriam órbitas excêntricas, baixa metalicidade e seriam velhas.

Do ponto de vista cinemático, seriam mantidas preponderantemente por dispersão de velocidades

- Componente Disco:

Estrelas teriam órbitas circulares, metalicidade mais alta e seriam jovens

Cinematicamente: mantida por rotação

Diferentes morfologias seriam atribuídas a...

- ▲ Fatores ambientais
- ▲ Quantidade de gás disponível
- ▲ Eficiência de transformação do gás em estrelas

É Consistente...?

Sim, com a obs de propriedades gerais na Via Láctea (Galáxia) e também em galáxias externas, como a presença de estrelas velhas no bojo e jovens no disco, entre outras

Tem Limitações e alguns Pbs...

Na Galáxia -> a presença de estrelas super ricas em metais no bojo e a gde amplitude nos valores da metalicidade observada !

Galáxias externas -> mostram regiões de formação estelar jovem em bojos !
-> algumas desprovidas de bojo e, outras com bojos retangulares

2- Cenário Hierárquico

Formação de galáxias seria o resultado de processos de **fusões hierárquicas** de estruturas menores.

2 grandes grupos de galáxias (**S e E**) seriam formados via fusões de estruturas menores

E -> resultado de fusões de **S+S** de mesmo porte

S -> resultado de fusões de pequenas **S**_{anãs}

Neste caso, as diferenças entre as subclasses de espirais seriam devidas à efeitos ambientais como pressão de arraste, remoção abrasiva e evaporação do gás

Este Cenário é Consistente ?

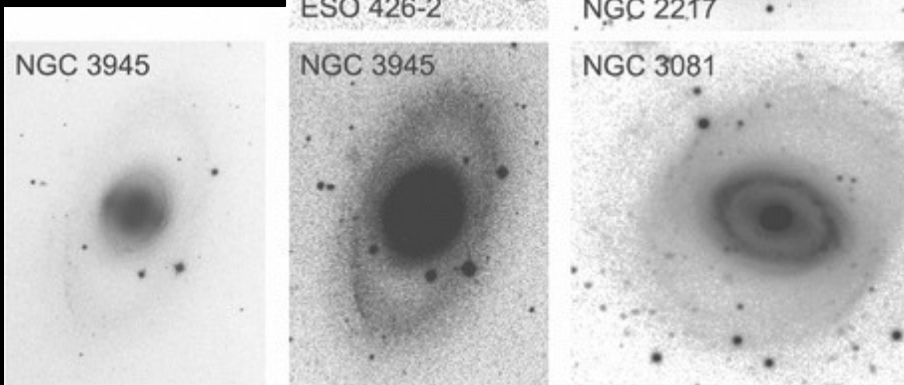
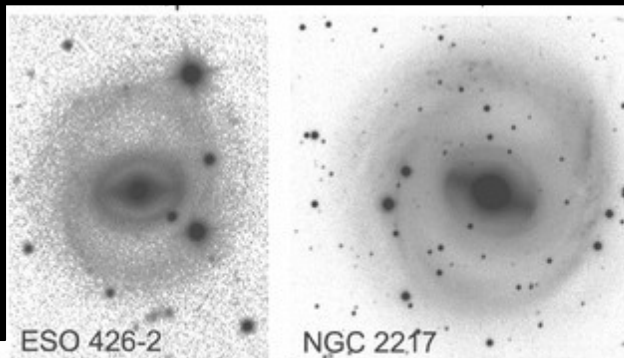
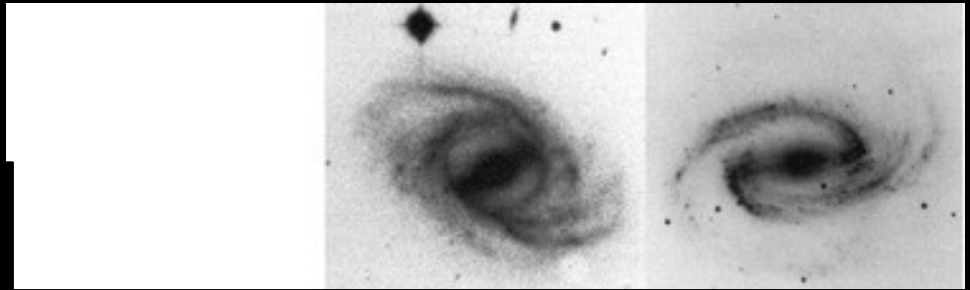
Sim, consistente com as propriedades observadas na maior parte em **E**, em particular, aquelas de **massa média**, e que tem **rotação expressiva...**

É compatível, portanto, com o **momento angular** recebido no processo de fusão...

Limitações

Não explica galáxias desbojadas, bojos retangulares e galáxias com anéis....
por exemplo!

Mas temos uma infinidade de morfologias, algumas possuindo anéis internos e/ou externos, barras aninhadas, multibraços, braços bifurcados, braços flocculentos e grand-design, etc...



Como explicar estes casos ?

3- Cenário de Evolução Secular (ES)

...um Cenário ainda em construção

A evolução de galáxias ocorreria como resultado da ação de interações envolvendo **fenômenos coletivos internos**, como barras e braços espirais, ou **externos**, tais como assédio galáctico, queda prolongada de gás e fusões de pequenas galáxias

Processos internos rearranjariam lenta^{te} a massa/energia nas galáxias modificando sua estrutura, criando subestruturas (p/ ex. anéis, barras) e provocando o aparecimento de novas gerações de estrelas quando o gás é comprimido

Nesta situação, discos se formariam primeiro, **instabilidades** provocariam efeitos seculares, **modificando as propriedades estruturais, químicas e cinemáticas originais**

Evolução dos Estudos Seculares (E.S)

Kormendy (1979, 1981, 1982): sutileza de subestruturas observadas poderiam ser geradas por **Efeitos Seculares (lentos)**

Estudos sistemáticos: década de 1990 -> **2004 síntese !**

Simulações tem contribuído significativamente, dando consistência às obs.

-> em particular, o **papel das barras** na evolução das galáxias

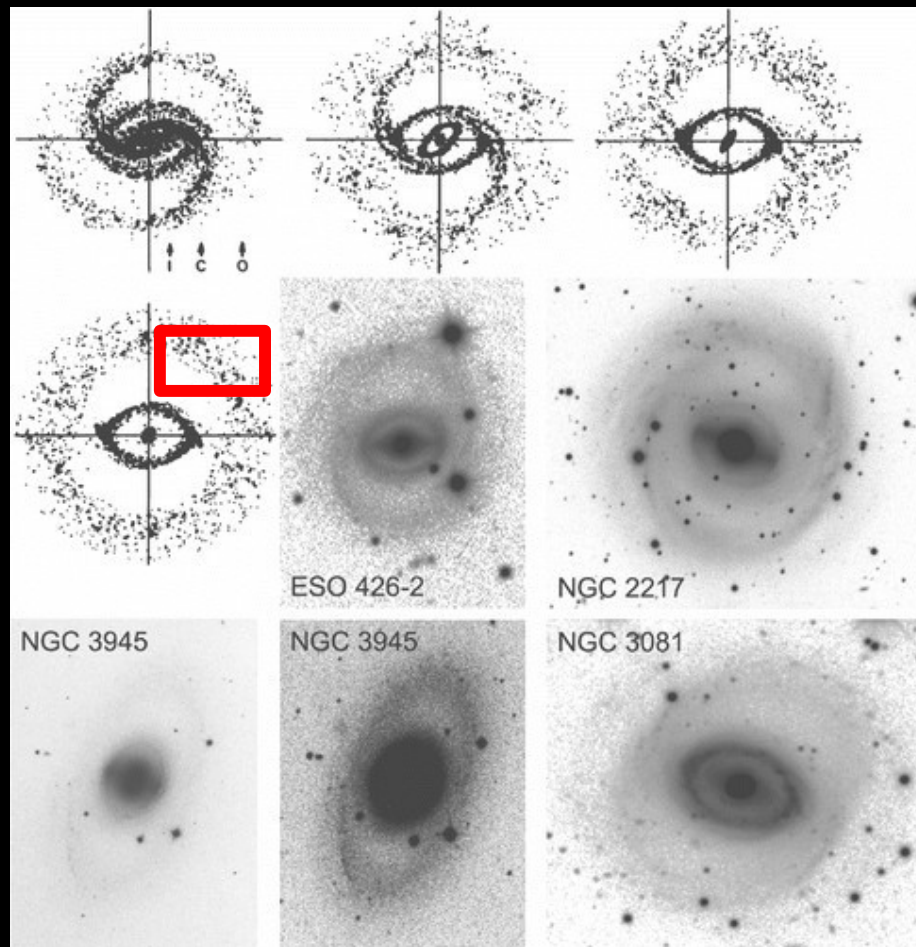
- escoam gás p/ centro e ao ser comprimido geraria novas estrelas e subestruturas
- misturam material disco alterando gradiente de metalicidade e cor
- 5% M_{tot} (gás) pode destruir a barra -> transmutação morfológica

Estes Efeitos Seculares...

gerariam subestruturas contendo população estelar jovem, anéis internos e externos, barras robustas e nucleares, pseudoboios-PB) e, boios retangulares, pseudo-anéis e, braços espirais nucleares.

Comparando Simulações com Galáxias Reais

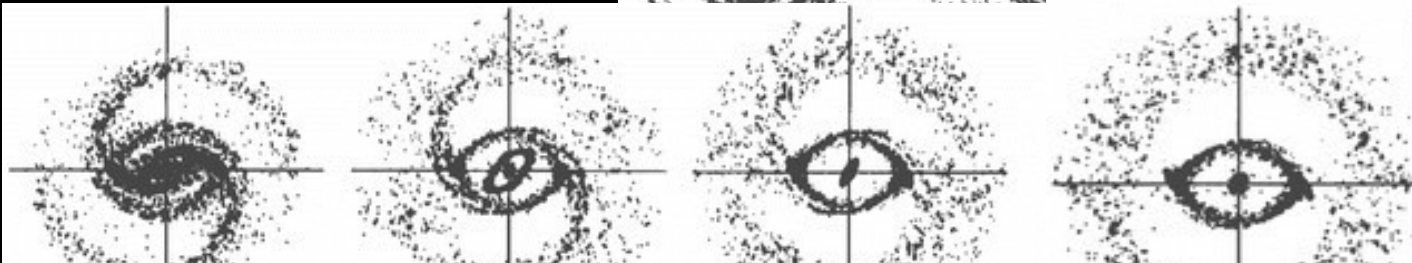
...evolução de um gás de partículas em Potencial Oval após 2, 3, 5 e 7 rotações da barra



Comparando Simulações com Observações

...evolução de um gás de partículas

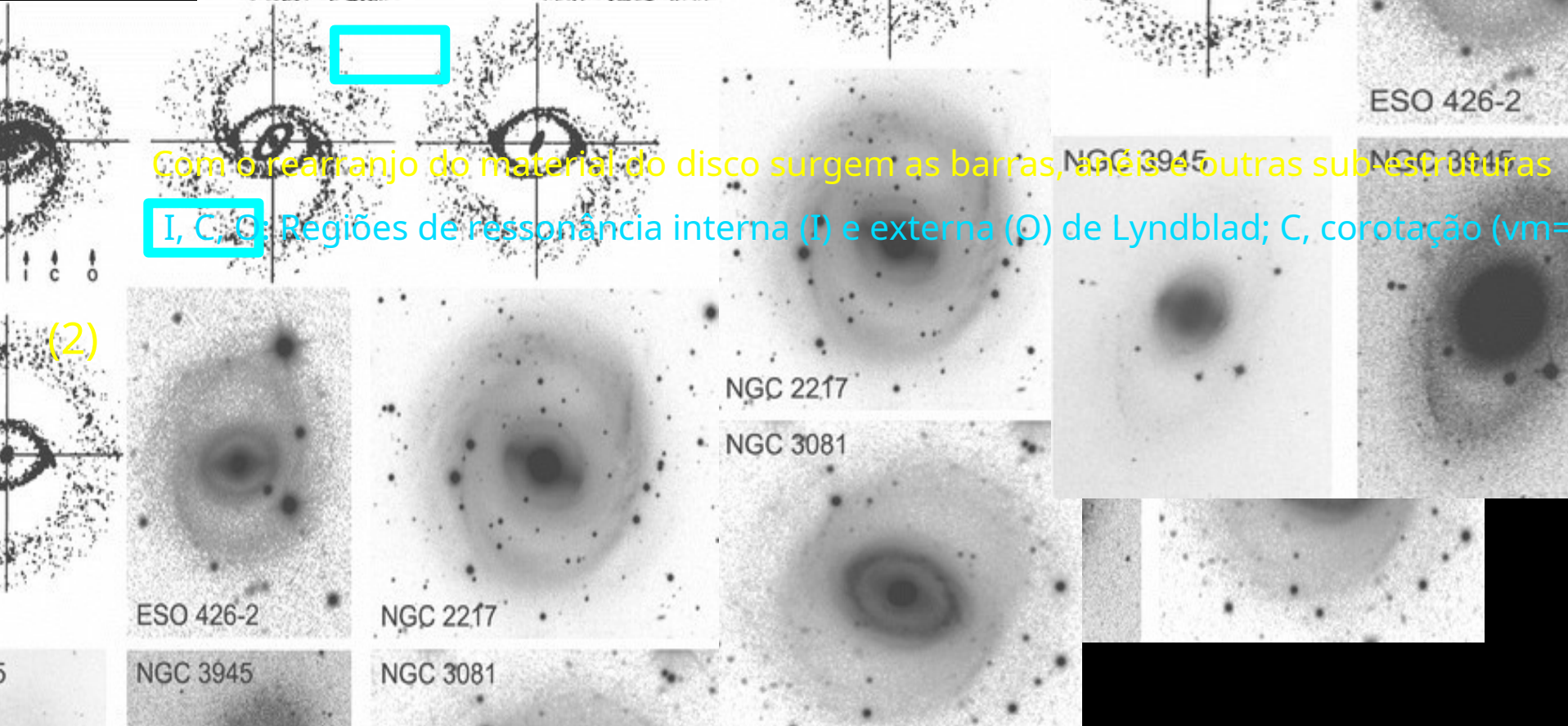
(1)



Com o rearranjo do material do disco surgem as barras, anéis e outras subestruturas

I, C, O: Regiões de ressonância interna (I) e externa (O) de Lyndblad; C, corotação ($v_m =$

(2)

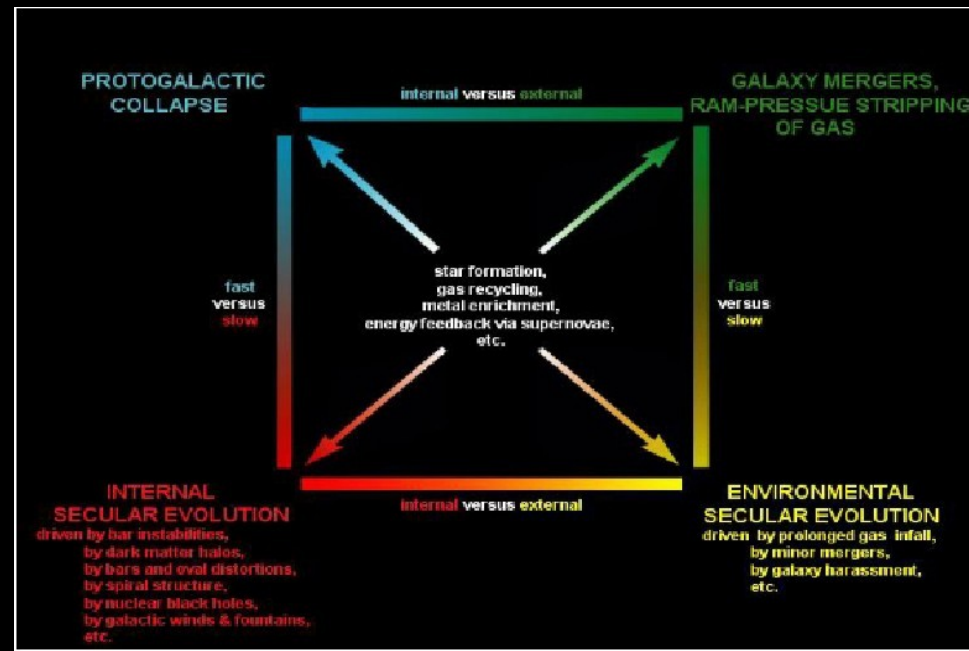


Todo o panorama apresentado reflete uma **visão atual** onde galáxias devem ter sido formadas por um conjunto de processos físicos, cada qual dominando em fases distintas da evolução do Universo.

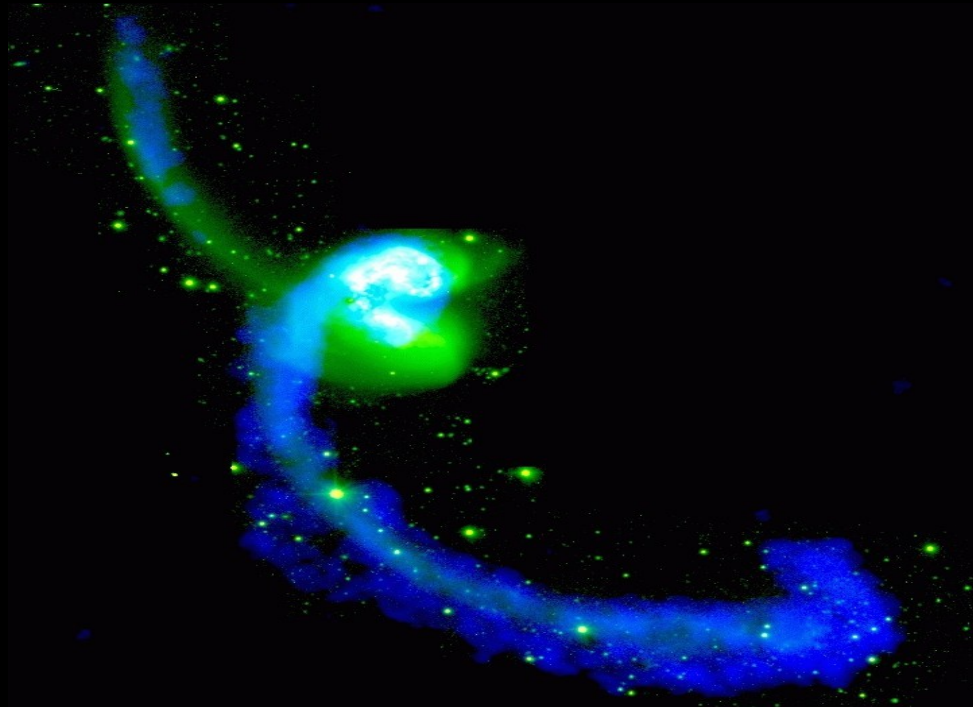
Processos **rápidos e violentos** (colapsos dissipativos e fusões) dominariam na fase inicial de expansão do Universo

Com a expansão do Universo as galáxias em aglomerados adquirem gdes dispersões de velocidade dificultando as fusões, permitindo então que processos seculares ocorram. Estes devem dominar no futuro...

Ao lado podemos ver um esquema que sintetiza os processos mencionados acima



...e as galáxias peculiares?

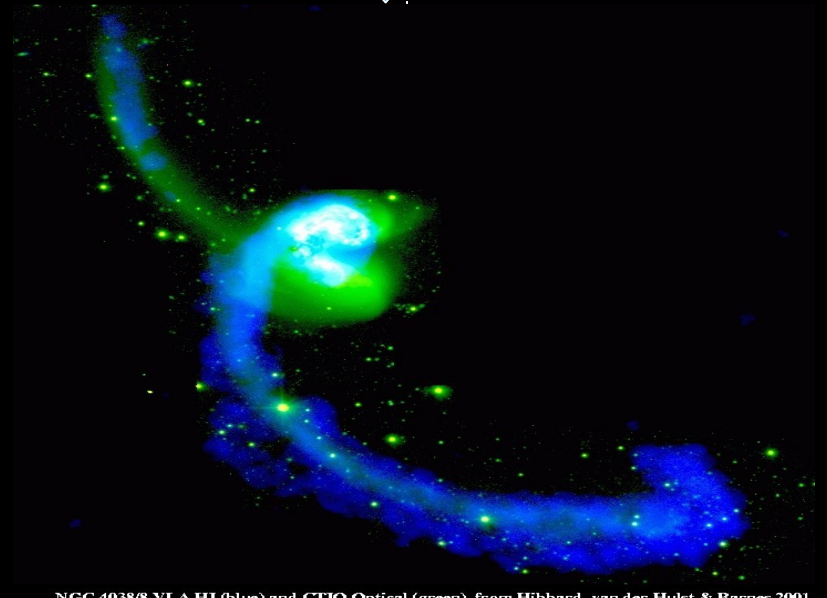
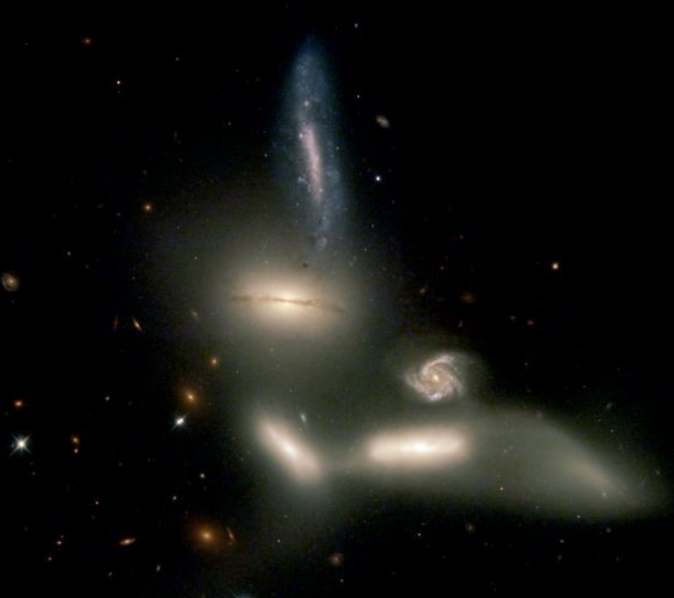


NGC 4038/8 VLA HI (blue) and CTIO Optical (green), from Hibbard, van der Hulst & Barnes 2001

Como explicar as morfologias “patológicas” ?

Galáxias são sistemas “sociais” e geralmente encontram-se em grupos que variam de riqueza, desde pares, grupos pobres, aglomerados e superaglomerados. A dimensão destas estruturas...

- Grupos: 1 Mpc
- Aglomerados: ~ alguns Mpc
- Superaglomerados: ~ 50 Mpc e maiores....
- Massas variam na escala de aglom. e superaglom.: $10^{15} - 10^{16}$



O conteúdo morfológico varia dependendo da riqueza ou densidade do aglomerado, fenômeno conhecido como **Segregação Morfológica**

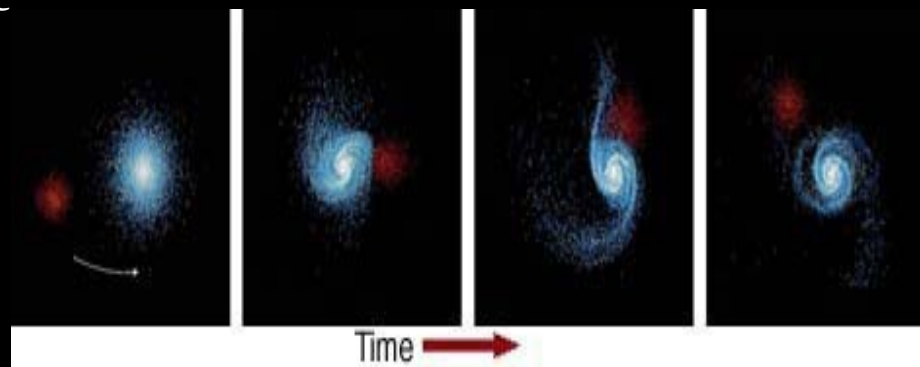


Agrupamento pobre:
domínio de **galáxias espirais (S)**

Aglomerados ricos: predomínio de galáxias **E** no centro, e presença de **S** na borda

..algumas possibilidades

Como a dimensão das galáxias é grande comparada a distância entre elas, efeitos de maré e mesmo canibalismo são importantes → **Transmutação Morfológica**



...então, esta classe de objetos Peculiares está associada
a **efeitos ambientais** onde ocorrem **fusões e efeitos de maré**

Um exemplo de Grupo Pobre

Grupo Local

...o grupo a que pertence a Via-Láctea

- Contêm da ordem de 30 membros conhecidos e a maioria são anãs
- Galáxias dominantes do grupo: Andrômeda e VL (S)
- Satélites da VL: Nuvens de Magalhães (Irr), Canis Major Dwarf

Importante lembrar aqui que estas galáxias estão em movimento e possuem velocidade relativa, ou seja, “dispersão de velocidade”

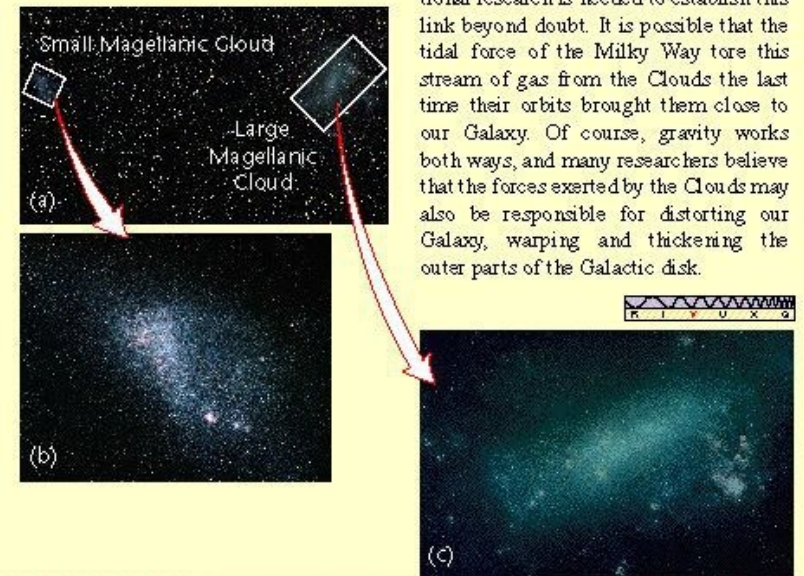


Interlude 24-1 The Clouds of Magellan

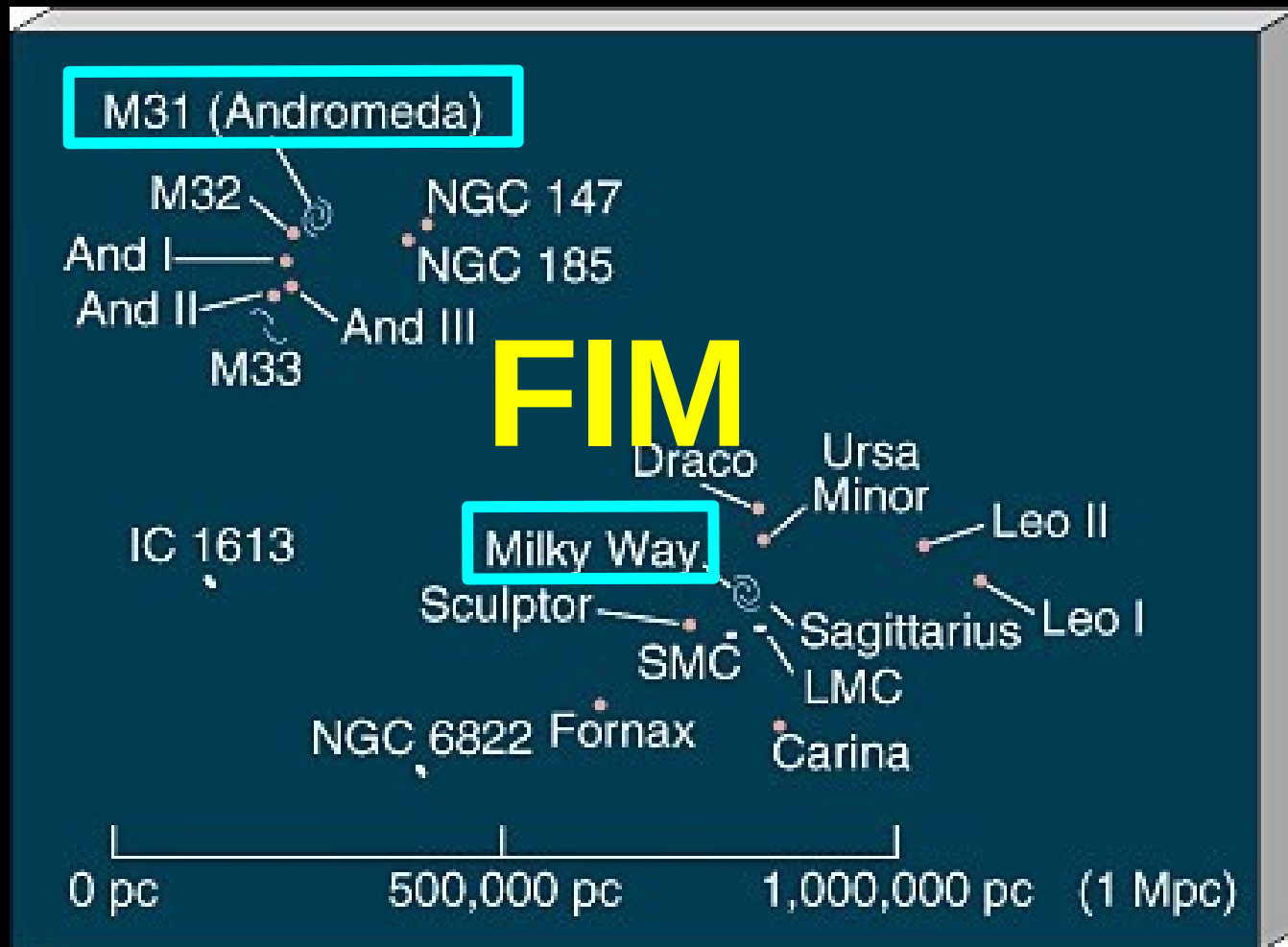
Far to the south, out of viewing range of most of the Northern Hemisphere, reside two nearby galaxies called the *Magellanic Clouds*. These “Clouds of Magellan” are dwarf irregular galaxies, gravitationally bound to our own Milky Way. They orbit our Galaxy and accompany it on its trek through the cosmos. The Large Magellanic Cloud and its companion, the Small Magellanic Cloud, are visible to the naked eye from any location south of Earth’s equator. Looking much like dimly luminous atmospheric clouds, they are named for the sixteenth-century Portuguese explorer Ferdinand Magellan, whose round-the-world expedition first brought word of these giant fuzzy patches of light to Europe. Figure 23.12 shows their size and position relative to the Milky Way. The accompanying figure presents them in more detail and indicates their relation to one another in the southern sky.

Studies of Cepheid variables within the Magellanic Clouds show them to be approximately 50 kpc from the center of our Galaxy. The larger cloud contains about 6 billion solar masses of material and is a few kiloparsecs across. The close-up of the Large Magellanic Cloud shows its distorted, irregular shape, although some observers claim they can discern a single spiral arm. Whatever its structure, direct observations show that this irregular galaxy contains lots of gas, dust, and blue stars (and the recent, well-known supernova discussed in *Interlude 21-2* on p. 452), indicating youthful activity and presumably current star formation. Both Clouds also contain many old stars and several old globular clusters, so we know that star formation has been going on there for a very long time.

Over the years, radio studies have hinted at a possible bridge of hydrogen gas connecting our Milky Way to the Magellanic Clouds, but more observational research is needed to establish this link beyond doubt. It is possible that the tidal force of the Milky Way tore this stream of gas from the Clouds the last time their orbits brought them close to our Galaxy. Of course, gravity works both ways, and many researchers believe that the forces exerted by the Clouds may also be responsible for distorting our Galaxy, warping and thickening the outer parts of the Galactic disk.



Estrutura do Grupo Local





Grupo Local

• Gran nubé de Magallanes /GNM

Galaxia de Andrómeda

NGC 205

Galaxia NGC 147

Galaxia NGC 185

Galaxia NGC 6822

Galaxia M-33

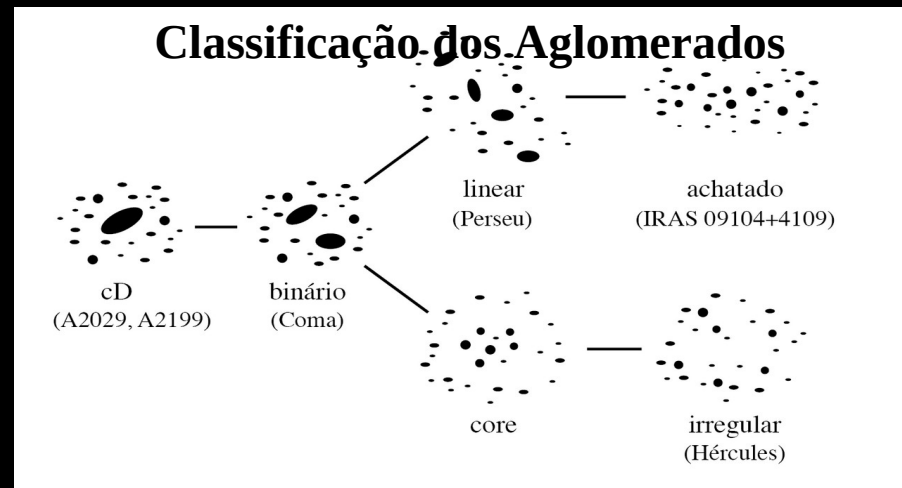
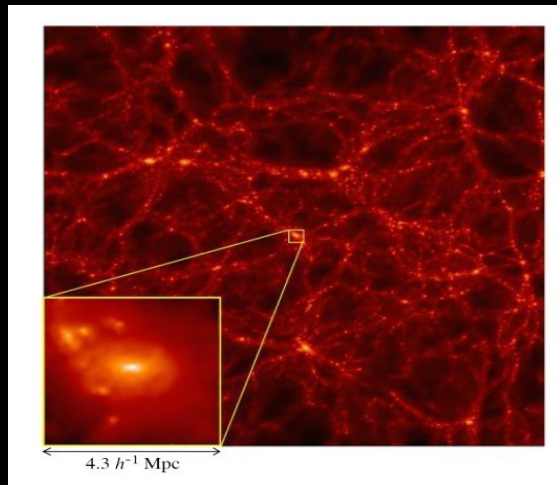
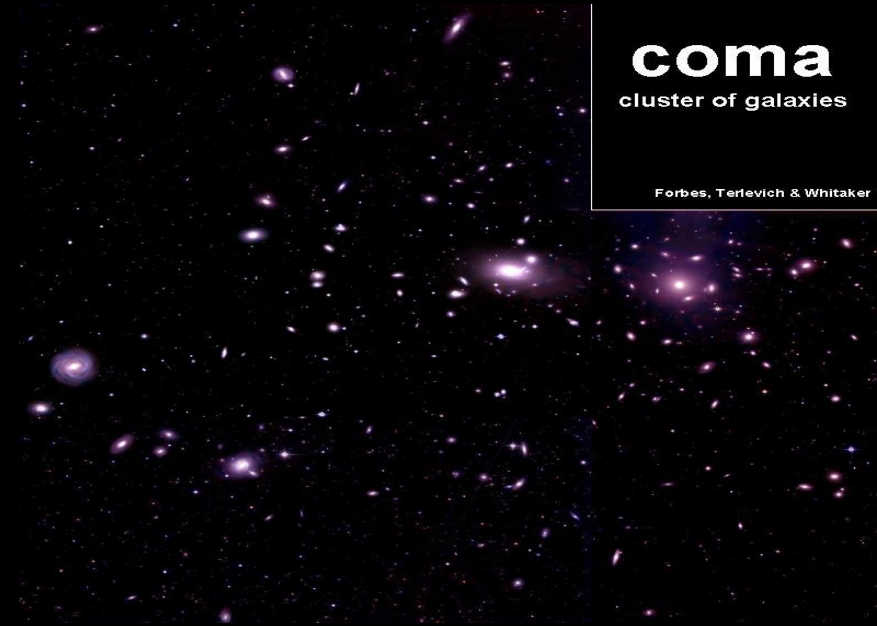
Grupos Densos e Ricos

Exs: Virgo (Irr), Coma (Reg)

Estruturas irregulares ou regulares indicam estágio evolutivo do aglomerado

Mais evoluído $\rightarrow$ + regular

+ evoluído implica em "equipartição de energia" ou equilíbrio





Superposição de imagens em Raio-X e Optico de 2 aglomerados de galáxias
A região azul diz respeito ao gás ($T \sim 10^7 \text{K}$).

A contribuição de massa na forma de gás pode atingir 80% da massa total do aglomerado



Superaglomerados

Universo em grande escala mostra distribuição aparentemente homogênea de hiperestruturas e vazios com dimensões:

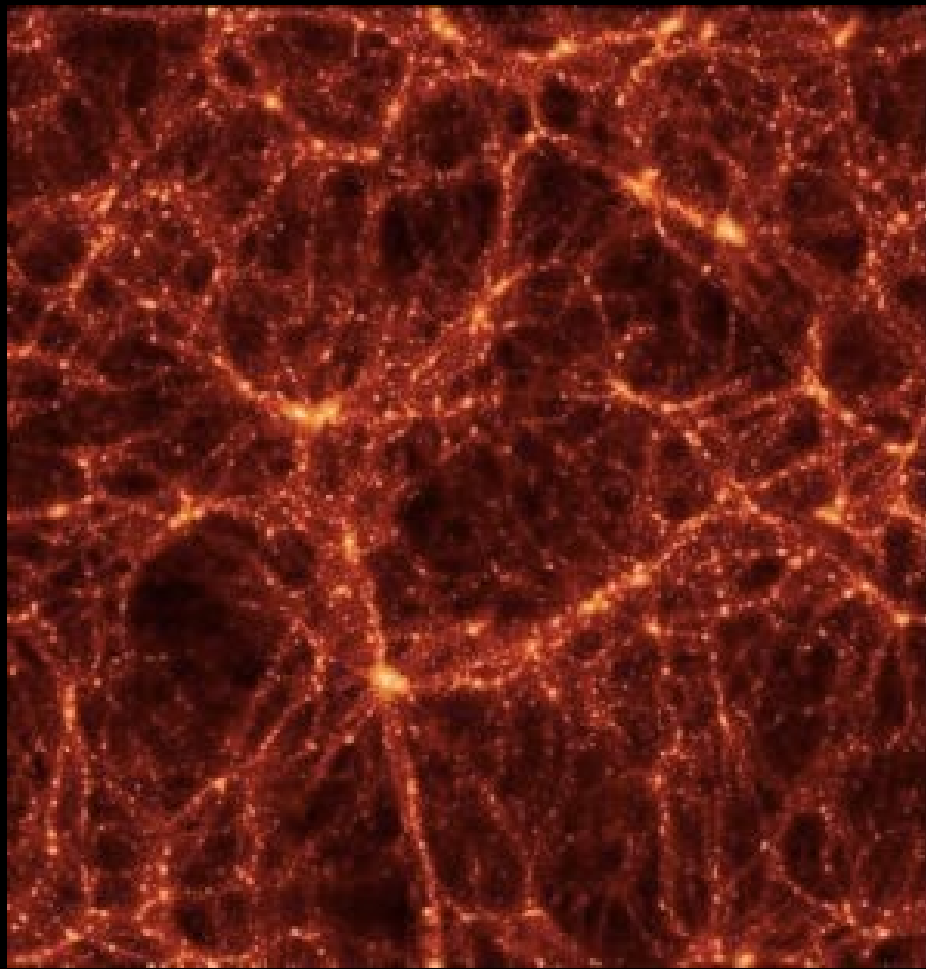
Estruturas: ~1 bilhão de a.l

Vazios: 250 milhões de a.l

Gravidade: atração entre td e qualquer matéria

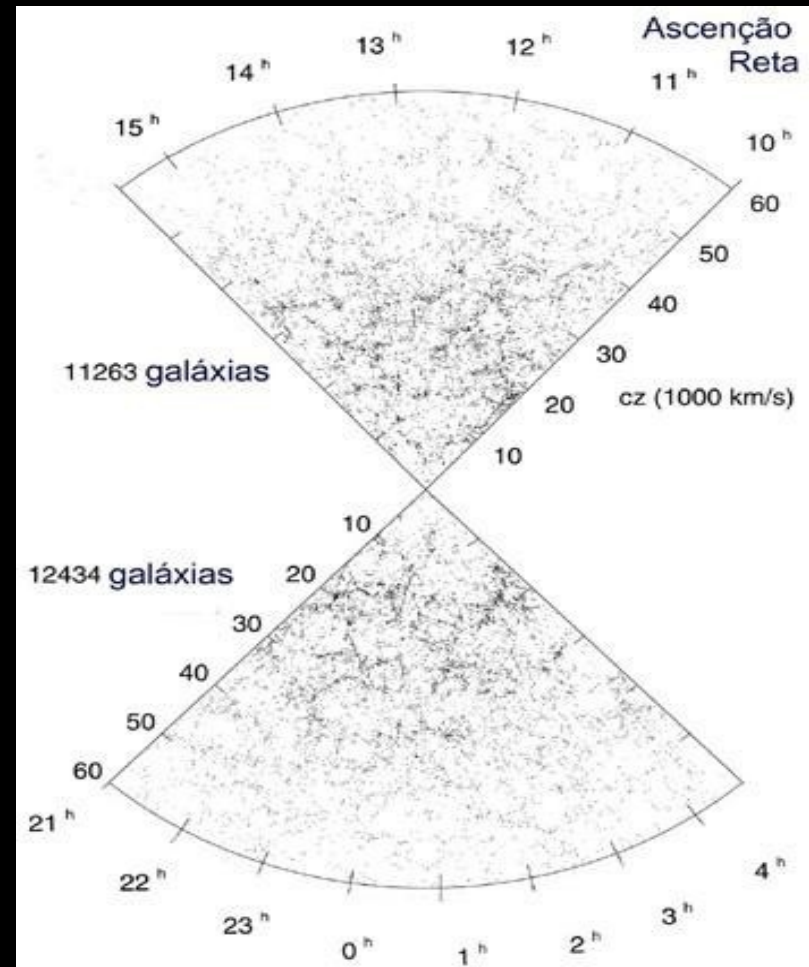
...sabemos que ela é responsável por coletar qdes absurdas de matéria em vastos “continentes”, separados por “vazios” comparáveis em dimensões





Simulação de uma fatia do Universo feita por H. M. P. Couchman da Universidade de Ontário, Canadá.

Os pontos mais luminosos nos filamentos correspondem aos halos das galáxias gigantes. Na interseção dos filamentos vemos a formação dos aglomerados de galáxias.



Distribuição observada em duas fatias do universo ("survey" de Las Campanas). "**cz**" é a velocidade de afastamento (recessão) das galáxias e, pela lei de Hubble, nos dá distância.

Todo o conteúdo visto neste curso mostra uma linha de raciocínio que constrói um conhecimento, como uma engrenagem, onde a partir de alguns questionamentos e soluções, outras questões surgem, desembocam em outras soluções e assim por diante.... até as questões que atualmente estamos vivenciando.

Esta construção intelectual, baseada na física que se entende atualmente, permite que hoje tenhamos uma visão relativamente bem assentada de um cenário de formação e evolução do Universo baseada na Teoria do Big Bang.

A área do conhecimento que estuda este tema é a **Cosmologia**.

Vamos ver nas próximas 2 aulas os pilares da construção deste cenário.